

**STUDI ANALISIS METODE HISAB GERHANA MATAHARI  
MENURUT RINTO ANUGRAHA DALAM BUKU MEKANIKA  
BENDA LANGIT**

**SKRIPSI**

Diajukan Untuk Memenuhi Tugas dan Melengkapi Syarat Guna

Memperoleh Gelar Sarjana Strata S.1 dalam Ilmu Syari'ah

Prodi Ilmu Falak



Oleh :

**JAFAR SHODIQ**

**NIM : 122111058**

**PROGRAM STUDI ILMU FALAK  
FAKULTAS SYARI'AH DAN HUKUM  
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI (UIN) WALISONGO  
SEMARANG  
2016**

Prof. Dr. H. Muslich, MA.

Jl. Wahyu Asri Dalam I/AA.44 Semarang

### PERSETUJUAN PEMBIMBING

Lamp : 4 (empat) eks

Hal : Naskah Skripsi

An. Sdr. Jafar Shodiq

Kepada Yth.

Dekan Fakultas Syari'ah dan Hukum

UIN Walisongo

*Assalamu'alaikum. Wr. Wb.*

Setelah saya mengoreksi dan mengadakan perbaikan seperlunya, bersama ini saya kirim naskah skripsi saudara :

Nama : Jafar Shodiq

NIM : 122111058

Judul Skripsi : Studi Analisis Metode Hisab Gerhana Matahari Menurut Rinto  
Anugraha dalam Buku Mekanika Benda Langit

Dengan ini saya mohon kiranya skripsi saudara tersebut dapat segera dimunaqosyahkan.

Demikian harap menjadikan maklum.

*Wassalamu'alaikum Wr. Wb.*



Pembimbing I

Prof. Dr. H. Muslich, MA.

060603198103 1 003

Drs. H. Slamet Hambali, MSI.  
Jl. Candi Permata II/180 Semarang

**PERSETUJUAN PEMBIMBING**

Lamp : 4 (empat) eks  
Hal : Naskah Skripsi  
An. Sdr. Jafar Shodiq

Kepada Yth.  
Dekan Fakultas Syari'ah dan Hukum  
UIN Walisongo

*Assalamu'alaikum. Wr. Wb.*

Setelah saya mengoreksi dan mengadakan perbaikan seperlunya, bersama ini saya kirim naskah skripsi saudara :

Nama : Jafar Shodiq  
NIM : 122111058  
Judul Skripsi : Studi Analisis Metode Hisab Gerhana Matahari Menurut Rinto Anugraha dalam Buku Mekanika Benda Langit

Dengan ini saya mohon kiranya skripsi saudara tersebut dapat segera dimunaqosyahkan.

Demikian harap menjadikan maklum.

*Wassalamu'alaikum Wr. Wb.*



Pembimbing II

Drs. H. Slamet Hambali, MSI.  
NIP. 19540805 198003 1 004





**KEMENTERIAN AGAMA  
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI WALISONGO  
FAKULTAS SYARI'AH DAN HUKUM**

Jl. Prof. Dr. Hamka Kampus III Ngaliyan Telp. / Fax. (024) 7601291  
Semarang 50185

**PENGESAHAN**

Nama : Jafar Shodiq  
NIM : 122111058  
Fakultas/Jurusan : Syari'ah dan Hukum/Ilmu Falak  
Judul : Studi Analisis Metode Hisab Gerhana Matahari Menurut Rinto  
Anugraha dalam Buku Mekanika Benda Langit

Telah Dimunaqasyahkan oleh Dewan Penguji Fakultas Syari'ah Universitas Islam  
Negeri Walisongo Semarang, pada tanggal :

**15 Juni 2016**

dan dapat diterima sebagai kelengkapan ujian akhir dalam rangka menyelesaikan studi  
Program Sarjana Strata 1 (S.1) tahun akademik 2015/2016 guna memperoleh gelar  
Sarjana dalam Ilmu Syari'ah dan Hukum.

Semarang, 15 Juni 2016

Dewan Penguji,  
Ketua Sidang

Drs. KH. Ahmad Ghozali, MSI.  
NIP. 19530524199303 1 001



Sekretaris Sidang

Prof. Dr. H. Muslich Shabir, MA.  
NIP. 1956060312198103 1 003

Penguji I

Dr. H. Ahmad Izzuddin, M.Ag.  
NIP. 19720512199903 1 003

Penguji II

Drs. H. Maksun, M.Ag.  
NIP. 19680515199303 1 002

Pembimbing I

Prof. Dr. H. Muslich Shabir, MA.  
NIP. 1956060312198103 1 003

Pembimbing II

Drs. H. Slamet Hambali, MSI.  
NIP. 19540805 198003 1 004

## MOTTO

وَمِنْ آيَاتِهِ اللَّيْلُ وَالنَّهَارُ وَالشَّمْسُ وَالْقَمَرُ لَا تَسْجُدُوا لِلشَّمْسِ وَلَا لِلْقَمَرِ  
وَأَسْجُدُوا لِلَّهِ الَّذِي خَلَقَهُنَّ إِن كُنتُمْ إِيَّاهُ تَعْبُدُونَ

*Dan diantara tanda-tanda kekuasaan-Nya ialah malam. Siang, Matahari dan bulan. Janganlah bersujud kepada Matahari dan jangan (pula) kepada bulan, tapi bersujudlah kepada Allah yang menciptakannya, jika kamu hanya menyembah kepada-Nya.<sup>1</sup>*

(QS. Fushilat : 37)

---

<sup>1</sup> Departemen Agama Republik Indonesia, *Alquran Dan Terjemahnya*, Semarang : CV. ALWAAH, th. 1993, hal. 778

## **PERSEMBAHAN**

*Skripsi ini saya persembahkan kepada :*

*Bapak dan ibu tercinta*

*Abdur Rahman dan Siti Khodijah*

*Tiada kata yang dapat menggambarkan betapa besarnya kasih sayang serta do'a kalian kepada penulis, semoga Allah akan akan senantiasa memberi kasih sayang serta rahmatNya kepada kalian.*

*Teruntuk kakak penulis mbak Anisatur Rohmah, Kang Ma'shum, kang Ali Musyafa serta adikku Mahmud Salim, terimakasih atas do'a dan support-nya.*

*Semoga Allah senantiasa memberi kesehatan kepada kita semua.*

## DEKLARASI

Dengan penuh kejujuran dan tanggung jawab penulis menyatakan bahwa skripsi ini tidak berisi materi yang telah pernah ditulis oleh orang lain atau diterbitkan. Demikian juga skripsi ini tidak berisi satu pun pikiran-pikiran orang lain kecuali informasi yang terdapat dalam referensi yang dijadikan bahan rujukan dalam penelitian ini.



## PEDOMAN TRANSLITERASI ARAB - LATIN

Pedoman transliterasi yang digunakan adalah Sistem Transliterasi Arab - Latin. Berdasarkan Surat Keputusan Bersama Menteri Agama dan Menteri Pendidikan dan Kebudayaan RI No. 158/1987 dan No. 0543 b/U/1987 tertanggal 22 Januari 1988.

### A. Konsonan

| Huruf Arab | Nama   | Huruf Latin | Nama                        |
|------------|--------|-------------|-----------------------------|
| ا          | Alif   | -           | Tidak dilambangkan          |
| ب          | ba     | B           | Be                          |
| ت          | ta     | t           | Te                          |
| ث          | ša     | š           | es (dengan titik di atas)   |
| ج          | jim    | j           | Je                          |
| ح          | ha     | h           | Ha (dengan titik di bawah)  |
| خ          | kha    | kh          | ka dan ha                   |
| د          | dal    | d           | De                          |
| ذ          | žal    | ž           | Zet (dengan titik di atas)  |
| ر          | ra     | R           | Er                          |
| ز          | zai    | Z           | Zet                         |
| س          | sin    | S           | Es                          |
| ش          | syin   | Sy          | es dan ye                   |
| ص          | šad    | š           | Es (dengan titik di bawah)  |
| ض          | ḍad    | ḍ           | De (dengan titik di bawah)  |
| ط          | ṭa     | ṭ           | Te (dengan titik di bawah)  |
| ظ          | ẓa     | ẓ           | Zet (dengan titik di bawah) |
| ع          | ‘ain   | ‘           | koma terbalik (di atas)     |
| غ          | gain   | G           | Ge                          |
| ف          | Fa     | F           | Ef                          |
| ق          | Qaf    | Q           | Ki                          |
| ك          | Kaf    | K           | Ka                          |
| ل          | Lam    | L           | El                          |
| م          | Mim    | M           | Em                          |
| ن          | Nun    | N           | En                          |
| و          | Wau    | W           | We                          |
| ه          | Ha     | H           | Ha                          |
| ء          | Hamzah | ’           | Apostrof                    |
| ي          | Ya     | Y           | Ye                          |

### B. Konsonan Rangkap

Konsonan rangkap yang disebabkan oleh *syaddah* ditulis rangkap.

Contoh : بَيْنَ = *Bayyana*, نَزَلَ = *nazzala*



### C. Vokal

Vokal bahasa Arab seperti bahasa Indonesia terdiri dari vokal tunggal atau monoftong dan vokal rangkap atau diftong.

#### a. Vokal tunggal

Vokal bahasa Arab yang lambangnya berupa tanda atau harakat, transliterasinya yaitu:

| Tanda | Nama   | ditulis |
|-------|--------|---------|
| ◌َ    | Fathah | a       |
| ◌ِ    | Kasrah | i       |
| ◌ُ    | Dammah | u       |

#### b. Vokal rangkap

Vokal rangkap bahasa Arab yang lambangnya berupa gabungan antara harakat dan huruf, transliterasinya berupa gabungan huruf, yaitu :

| Tanda | Nama              | Ditulis | Contoh                   |
|-------|-------------------|---------|--------------------------|
| ◌َ+ي  | Fathah + ya' mati | ai      | كَيْفَ , ditulis kaifa   |
| ◌َ+و  | Fathah + wawu     | au      | لَاوْنٌ , ditulis launun |

#### c. Vokal panjang

Vokal panjang yang lambangnya berupa harakat dan huruf, transliterasinya berupa huruf dan tanda, yaitu :

| Harkat dan huruf | Nama          | Huruf dan tanda | Contoh        |
|------------------|---------------|-----------------|---------------|
| اَ+وْ            | Fathah + alif | Ā               | فَالَا = falā |
| اِ+وْ            | Kasrah + ya   | I               | قِيلَا = qīla |
| اُ+وْ            | Dammah + wawu | Ū               | اُصُول = usūl |

#### D. *Ta Marbuṭah*

*Ta marbuṭah* yang hidup atau mendapat harakat *fatah*, *kasrah* dan *damah*, transliterasinya adalah “t”. *Ta marbuṭah* yang mati atau mendapat harakat sukun, transliterasinya adalah “h”. Kalau pada kata yang terakhir dengan *ta marbuṭah* diikuti oleh kata yang menggunakan kata sandang al serta bacaan kedua kata itu terpisah, maka *ta marbuṭah* itu ditransliterasikan dengan “h”.

#### E. *Syaddah (Tasydid)*

*Syaddah* atau *tasydid* yang dalam sistem tulisan Arab dilambangkan dengan sebuah tanda, yaitu tanda *syaddah* atau tanda *tasydid*, dalam transliterasi ini tanda *syaddah* tersebut dilambangkan dengan huruf, yaitu huruf yang sama dengan huruf yang diberi tanda *syaddah* itu.

#### F. **Kata Sandang**

Kata sandang dalam sistem tulisan Arab dilambangkan dengan huruf, yaitu اِ, namun, dalam transliterasi ini kata sandang itu dibedakan atas kata sandang yang diikuti oleh huruf *syamsiyah* dan kata sandang yang diikuti oleh huruf kamariah. Kata sandang yang diikuti oleh huruf *syamsiyah* ditransliterasikan sesuai dengan bunyinya, yaitu “ l ” diganti dengan huruf

yang sama dengan huruf yang langsung mengikuti kata sandang itu. Kata sandang yang diikuti oleh huruf kamariah ditransliterasikan sesuai dengan aturan yang digariskan di depan dan sesuai pula dengan bunyinya. Baik diikuti oleh huruf *syamsiyah* maupun kamariah, kata sandang ditulis terpisah dari kata yang mengikutinya dan diberi tanda hubung ( - ).

#### **G. Hamzah**

Hamzah ditransliterasikan dengan *apostrof*. Namun, itu hanya berlaku bagi hamzah yang terletak di tengah dan di akhir kata. Apabila terletak di awal kata, hamzah tidak dilambangkan karena dalam tulisan Arab berupa alif.

#### **H. Penulisan Kata**

Pada dasarnya setiap kata, baik fiil (kata kerja), *isim* maupun *haraf*, ditulis terpisah. Hanya kata-kata tertentu yang penulisannya dengan huruf Arab sudah lazim dirangkaikan dengan kata lain – karena ada huruf atau harakat yang dihilangkan - , maka dalam transliterasi ini penulisan kata tersebut dirangkaikan juga dengan kata lain yang mengikutinya.

#### **I. Pemakaian Huruf Kapital**

Meskipun dalam sistem tulisan Arab huruf kapital tidak dikenal, dalam transliterasi ini huruf tersebut digunakan juga. Penggunaan huruf kapital seperti yang berlaku dalam Ejaan Bahasa Indonesia yang Disempurnakan, antara lain, huruf kapital digunakan untuk menuliskan huruf awal, nama diri dan permulaan kalimat. Apabila nama diri itu

didahului oleh kata sandang, maka yang ditulis dengan huruf kapital tetap huruf awal nama diri tersebut, bukan huruf awal kata sandangnya.

## ABSTRAK

Salah satu tanda kebesaran Allah adalah terjadinya gerhana. Peristiwa alam yang menarik ini dimaksudkan agar umat manusia mengambil hikmah dan semakin menambah ketakwaan kepada Allah swt, dengan melaksanakan salat sunnah pada saat fenomena itu terjadi. Dalam khazanah keilmuan Falak, meskipun kejadian gerhana tidak menimbulkan banyak polemik seperti halnya perbedaan penentuan awal bulan kamariah dan penentuan arah kiblat, akan tetapi fenomena ini tidak kalah menarik untuk terus dikaji. Tidak melulu soal kapan gerhana dimulai akan tetapi dengan mengetahui elemen Bessel gerhana Matahari kita bisa mengetahui koordinat lintang dan bujur daerah mana yang terkena garis sentral gerhana pada saat terjadi gerhana total maupun cincin.

Penulis tertarik untuk mengetahui algoritma perhitungan gerhana garis sentral yang dalam hal ini penulis dapatkan dari buku Mekanika Benda Langit karya dosen Fisika UGM, Rinto Anugraha. Melalui gerhana garis sentral (*central line*) pengamat gerhana dapat mengetahui berapa lintang dan bujur lokasi yang terkena gerhana total, berapa nilai altitude dan azimuth matahari di lokasi tersebut dan berapa lebar lintasan gerhana di lokasi sesuai dengan waktu yang diinginkan. Data kunci untuk mendapatkan itu semua adalah dengan mengetahui elemen Bessel dari gerhana matahari yang terjadi. untuk setiap gerhana maka elemen Bessel-nya juga berbeda. Perhitungan gerhana dalam Mekanika Benda Langit tergolong perhitungan gerhana global karena tidak mencantumkan data *markaz* lokal.

Penelitian ini tergolong penelitian kualitatif dengan pendekatan kepustakaan. Sumber primer yang digunakan penulis adalah buku Mekanika Benda Langit karya Rinto Anugraha dan wawancara secara langsung dengan pengarangnya. Data sekunder di dapat dari dokumen-dokumen baik itu buku, majalah, *website*, ensiklopedi, kamus, surat kabar, dll. yang berhubungan dengan gerhana Matahari. proses analisis menggunakan metode analisis isi (*content analysis*) dengan pendekatan komparatif.

Hasil penelitian penulis yang *pertama*, dengan melihat proses perhitungan dan data-data yang di pakai buku Mekanika Benda Langit tergolong dalam hisab hakiki kontemporer karena telah memakai algoritma modern dan data astronomis yang aktual. Buku Mekanika Benda Langit menggunakan algoritma Jean Meeus dengan mengambil delta T dari rumus polynomial NASA. *Kedua*, untuk keakurasian gerhana garis sentral dalam buku ini mempunyai kecocokan yang baik dengan NASA sebagai pembanding, dengan hasil yang terpaut 1 sampai 2 menit saja.

Kata kunci : gerhana Matahari, garis sentral, elemen Bessel, Mekanika Benda Langit.



## KATA PENGANTAR

*Alhamdulillah*, puji syukur penulis haturkan ke hadirat Allah SWT. atas segala limpahan rahmat, taufik, hidayah dan *inayah*-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul ***“Studi Analisis Metode Hisab Gerhana Matahari Rinto Anugraha Dalam Buku Mekanika Benda Langit”***, dengan segala kemudahan yang diberikan-Nya.

*Salawat* dan Salam semoga selalu terlimpahkan kepada Rasulullah Muhammad SAW. beserta keluarga, sahabat, dan para pengikutnya yang telah memberikan teladan dalam kehidupan.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini dapat diselesaikan tidak luput dari bantuan berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis tidak lupa untuk menyampaikan terima kasih terutama kepada :

1. Kedua orang tua penulis beserta segenap keluarga, atas segala doa, perhatian, dukungan, kelembutan dan curahan kasih sayang yang tidak dapat penulis ungkapkan dalam untaian kata.
2. Kementrian Agama RI, Direktorat Pendidikan Diniyah dan Pondok Pesantren atas beasiswa yang diberikan selama menempuh masa perkuliahan.
3. Rektor UIN Walisongo Semarang yang telah memberikan banyak perubahan dan pengembangan pada universitas ini, sehingga penulis mampu menuntut ilmu dengan baik.
4. Dekan Fakultas Syariah dan Hukum Islam UIN Walisongo Semarang dan Pembantu Dekan yang telah memberikan izin kepada penulis untuk melakukan penelitian dan memberikan fasilitas dalam masa perkuliahan.

5. Ketua Program Studi Ilmu Falak dan seluruh pengelola, atas segala bimbingan dan perhatiannya.
6. Bapak Prof. Dr. H. Muslich, MA. selaku Pembimbing I dan bapak Drs. H. Slamet Hambali, MSI. selaku Pembimbing II, terima kasih atas bimbingan dan pengarahan yang diberikan sejauh ini.
7. Bapak Dr. Eng. Rinto Anugraha, M.Si. sebagai narasumber utama penulis, terimakasih atas kesediannya berbagi ilmu dalam penelitian ini.
8. Keluarga besar Pondok Pesantren Darun Najah Semarang, khususnya KH. Sirodj Chudhori dan Dr. KH. Ahmad Izzuddin, M.Ag, selaku pengasuh. *syukran jazilan* atas ilmu, bimbingan, dan arahannya.
9. Keluarga besar Yayasan Pondok Pesantren Salafiyah Wonoyoso Kebumen, KH. Muntaha Mahfudz sekeluarga, terimakasih atas ilmu, bimbingan dan nasihatnya.
10. CSS MoRA UIN Walisongo Semarang sebagai tempat berlatih organisasi, begitu banyak ilmu dan pengalaman yang penulis dapatkan, juga kepada seluruh keluarga CSSMoRA, temen-temen “Babarblast” khususnya. karena selama 4 tahun ini telah menemani lika-liku hidup penulis dalam senang maupun susah.
11. Semua pihak yang telah membantu dan memberikan dorongan kepada penulis selama penulis studi di Fakultas Syariah dan Hukum Islam UIN Walisongo Semarang.

Tidak ada ucapan yang dapat penulis kemukakan di sini atas jasa-jasa mereka, kecuali hanya harapan semoga pihak-pihak yang telah penulis kemukakan di atas selalu mendapat rahmat dan anugerah dari Allah SWT.

Demikian skripsi yang penulis susun ini sekalipun masih belum sempurna namun harapan penulis semoga akan tetap bermanfaat dan menjadi sumbangan yang berharga bagi khazanah kajian ilmu falak.

Semarang, 9 Juni 2016

Penulis,

Jafar Shodiq

NIM: 122111058

## DAFTAR ISI

|   |             |
|---|-------------|
| <b>HALAMAN JUDUL .....</b>                  | <b>i</b>    |
| <b>HALAMAN PERSETUJUAN PEMBIMBING .....</b> | <b>ii</b>   |
| <b>HALAMAN PENGESAHAN .....</b>             | <b>iv</b>   |
| <b>HALAMAN MOTTO .....</b>                  | <b>v</b>    |
| <b>HALAMAN PERSEMBAHAN .....</b>            | <b>vi</b>   |
| <b>HALAMAN DEKLARASI .....</b>              | <b>vii</b>  |
| <b>HALAMAN PEDOMAN TRANSLITERASI .....</b>  | <b>viii</b> |
| <b>HALAMAN ABSTRAK .....</b>                | <b>xiii</b> |
| <b>HALAMAN KATA PENGANTAR .....</b>         | <b>xiv</b>  |
| <b>HALAMAN DAFTAR ISI .....</b>             | <b>xvii</b> |

## **BAB I    PENDAHULUAN**

|  |    |
|--|----|
| A. Latar Belakang .....                  | 1  |
| B. Rumusan Masalah .....                 | 7  |
| C. Tujuan Penelitian .....               | 8  |
| D. Manfaat Penelitian .....              | 8  |
| E. Telaah Pustaka .....                  | 9  |
| F. Metode Penelitian .....               | 14 |
| 1. Jenis dan Pendekatan Penelitian ..... | 14 |
| 2. Sumber dan Jenis Data .....           | 14 |
| 3. Teknik Pengumpulan Data .....         | 15 |
| 4. Teknik Analisis Data .....            | 16 |
| G. Sistematika Penulisan .....           | 17 |

## **BAB II GAMBARAN UMUM GERHANA MATAHARI**

|  |    |
|--|----|
| A. Pengertian Gerhana .....                          | 19 |
| B. Kriteria Gerhana Matahari                         |    |
| 1. Gerhana Matahari Total .....                      | 21 |
| 2. Gerhana Matahari Sebagian .....                   | 22 |
| 3. Gerhana Matahari Cincin .....                     | 22 |
| C. Periodisasi Gerhana .....                         | 25 |
| D. Tinjauan Syar'i Gerhana .....                     | 28 |
| E. Fakta-fakta tentang Gerhana .....                 | 35 |
| F. Algoritma Jean Meeus untuk Gerhana Matahari ..... | 41 |

## **BAB III Metode Hisab Gerhana Matahari Menurut Rinto Anugraha dalam Buku Mekanika Benda Langit**

|  |    |
|--|----|
| A. Biografi Intelektual Rinto Anugraha NQZ .....   | 52 |
| B. Sekilas Buku Mekanika Benda Langit .....  | 56 |
| C. Metode Perhitungan Gerhana Matahari Rinto Anugraha dalam Buku Mekanika Benda Langit ..... | 61 |

## **BAB IV Analisis Metode Hisab Gerhana Matahari Menurut Rinto Anugraha dalam Buku Mekanika Benda Langit**

|   |    |
|---|----|
| A. Analisis Metode Hisab Gerhana Matahari Menurut Rinto Anugraha dalam Buku Mekanika Benda Langit .....         | 69 |
| 1. Teori yang Digunakan .....   | 71 |
| 2. Sumber Data yang Digunakan .....   | 75 |
| 3. Analisis Gerhana Garis Sentral .....   | 80 |
| 4. Analisis Delta T .....   | 81 |
| B. Analisis Akurasi Metode Hisab Gerhana Matahari Menurut Rinto Anugraha dalam Buku Mekanika Benda Langit ..... | 83 |



## **BAB V    PENUTUP**

|                     |    |
|---------------------|----|
| A. Kesimpulan ..... | 88 |
| B. Saran-saran..... | 89 |
| C. Penutup .....    | 90 |

## **DAFTAR PUSTAKA**

## **LAMPIRAN**

## **RIWAYAT PENDIDIKAN**

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **A. Latar Belakang**

Allah SWT memerintahkan umat manusia untuk menyelidiki dan merenungkan penciptaan langit, Bumi, gunung-gunung, bintang-bintang, tumbuhan, benih, binatang, pergantian siang dan malam, dan berbagai ciptaan lainnya. Terdapat ayat-ayat al Qur'an yang menjelaskan bahwa gejala-gejala di alam raya ini adalah merupakan bukti kekuasaan Allah SWT. Salah satu dari peristiwa gejala dan peristiwa alam yang begitu banyak dan mengagumkan tersebut adalah terjadinya gerhana.

Fenomena terjadinya gerhana merupakan peristiwa alam yang secara periodik sering terjadi. Wilayah yang dilewati pada peristiwa gerhana pun berbeda-beda, tergantung dari posisi dan jarak antara Matahari, Bumi, dan Bulan saat peristiwa itu. Hal tersebut merupakan salah satu kajian dalam ilmu falak maupun astronomi yang secara spesifik membahas waktu terjadinya gerhana, diantara kajian arah kiblat, waktu salat dan awal Bulan kamariah. Dalam pokok bahasan penentuan gerhana, secara garis besar adalah menghitung waktu terjadinya kontak antara Matahari dan Bulan, yakni kapan Bulan mulai menutupi Matahari dan lepas darinya pada saat terjadi gerhana Matahari, dan kapan Bulan mulai

menutupi bayangan umbra Bumi serta keluar dari bayangan tersebut pada saat terjadi gerhana Bulan.<sup>1</sup>

Muhammad Wardan<sup>2</sup> mengatakan bahwa gerhana Bulan ialah ketika peristiwa ketika Bulan bergerak mengelilingi Bumi, masuk ke dalam inti bayangan Bumi, sehingga pada waktu itu Bulan tidak menerima sinar Matahari. Oleh karena itu gerhana Bulan terjadi ketika Bulan berada pada saat *istiqbal* (oposisi). Gerhana Matahari adalah fenomena yang terjadi di saat Bulan berada di antara Bumi dan Matahari, yaitu saat *ijtima* (konjungsi), dimana Bulan atau Matahari berada di salah satu titik simpul atau dekatnya.<sup>3</sup> Gerhana Matahari dapat terjadi 2 sampai 3 kali dalam setahun, tetapi hanya dapat disaksikan di wilayah-wilayah tertentu di permukaan Bumi. Gerhana Bulan sendiri dapat terjadi 2 sampai 3 kali dalam setahun dan dapat disaksikan oleh seluruh penduduk Bumi yang menghadap ke Bulan.<sup>4</sup> Fenomena gerhana ini sudah lama menjadi objek pengamatan manusia. Sejak zaman Babilonia, catatan observasi gerhana sudah rutin dilakukan.<sup>5</sup>

---

<sup>1</sup> Ahmad Izzudin, *Ilmu Falak Praktis*, Semarang : PT Pustaka Rizki Putra, cet ke-2, th 2012, hal. 3-4

<sup>2</sup> Ia dilahirkan pada 19 Mei 1911 M bertepatan dengan tanggal 20 Jumadil Awwal 1329 H di Kauman, Yogyakarta dan meninggal dunia pada 3 Februari 1991M/ 19 Rajab 1411 H. Ayahnya yaitu Kyai Muhammad Sangidu, seorang penghulu keraton Yogyakarta dengan gelar Kanjeng Peghulu Kyai Muhammad Kamaludiningrat sejak 1913 M/ 1332 H sampai 1940 M/ 1359 H. Sejak 1973 hingga wafatnya, Wardan dipercaya sebagai anggota Badan Hisab Rukyah Departemen Agama RI. Muhammad Wardan merupakan seorang tokoh penggagas teori *Wujudul Hilal* yang hingga kini masih dipakai oleh persyarikatan Muhammadiyah. Selengkapnya lihat susiknan Azhari, *Ensiklopedi Hisab Rukyah*, Yogyakarta : Pustaka Pelajar, Cet ke-2, 2008, hal. 235-236.

<sup>3</sup> Mukhyidin Khazin, *Ilmu Falak (Dalam Teori dan Praktik)*, Yogyakarta : Buana Pustaka, 2004, hal. 187.

<sup>4</sup> Mukhyidin Khazin, *Ilmu...* hal 188.

<sup>5</sup> Ahmad Izzudin, *Fikih Hisab Rukyah*, Jakarta : PT Gelora Aksara Pratama, 2007, hal. 43

Pada masa Nabi Muhammad saw fenomena gerhana terjadi bertepatan dengan kematian putra Nabi saw yang bernama Sayyid Ibrahim. Sebagian golongan mengatakan bahwa peristiwa gerhana terjadi disebabkan wafatnya Ibrahim. Mereka mengatakan demikian dengan maksud mengagungkan Nabi saw dan putranya. Ketika Nabi mendengar apa yang mereka katakan, beliau memberikan keterangan dan berkhotbah kepada mereka yang isinya menjelaskan bahwa Matahari dan Bulan merupakan dua pertanda di antara tanda-tanda yang menunjukkan kekuasaan Allah swt dan tidak ada satu kekuasaan pun bagi seseorang terhadap keduanya.<sup>6</sup> Sebagaimana hadist yang diriwayatkan oleh al-Bukhori yang berbunyi :

حدثنا شهاب بن عباد قال : حدثنا ابراهيم بن حميد عن اسمعيل عن قيس قال : سمعت ابا مسعود يقول : قال النبي صلى الله عليه وسلم : انَّ الشَّمْسَ والقمر لا يكسفان لموت احد من الناس , ولكنَّهما ايتان من ايات الله , فاذا رايتما هما فقوموا فصلوا (رواه البخاري<sup>7</sup>)

Artinya : Syihab bin ‘Ibad telah bercerita kepada kami, ia berkata : telah bercerita kepada kami Ibrahim bin Humaid dari Ismail dari Qais, ia berkata : Aku mendengar Abu Mas’ud berkata : Nabi saw bersabda : sesungguhnya Matahari dan Bulan tidak mengalami gerhana karena kematian seorang manusia, tapi keduanya merupakan tanda di antara tanda-tanda kebesaran Allah. Jika kalian melihat keduanya (gerhana), maka berdirilah lalu salatlah.”

Hadist di atas menjelaskan bahwa ketika terjadi gerhana dianjurkan melaksanakan salat sunat yang dinamakan dengan salat sunat gerhana.

---

<sup>6</sup> Alawi Abbas al-Maliki, Penjelasan Hukum-Hukum Syar’i Islam, diterjemahkan oleh Bahrin Abu Bakar dari “*Ibanat al-Ahkam*”, Bandung : Sinar Baru Algesindo, Cet 1, 1994, hal. 802-803.

<sup>7</sup> Imam Abi Abdillah Muhammad bin Ismail ibnu Ibrahim bin al-Mughirah bin Bardazabah al-Bukhori al-Jafili, *Shahih al-Bukhari*, Juz I, Beirut, Libanon: Daar al-Fikr, 1981, hal. 24.

Para ulama sepakat bahwa salat sunat gerhana termasuk kategori sunat *muakkad*<sup>8</sup>. Hukum sunatnya sama dengan salat dua hari raya. Pelaksanaannya dilaksanakan ketika peristiwa gerhana mulai terlihat oleh mata sampai gerhana berakhir.

Bila dikaitkan dengan fikih *hisab rukyah* persoalan gerhana tidak begitu melahirkan perselisihan yang mencolok antara madzhab *hisab* dan madzhab *rukyah*, kendatipun pada dasarnya kedua madzhab tersebut juga berkaitan dalam persoalan gerhana Matahari dan gerhana Bulan. Adapun madzhab *hisab* yang disimbolkan oleh mereka dengan memakai cara menghitung (kapan) terjadi gerhana, madzhab *rukyah* yang disimbolkan oleh mereka menyatakan terjadi gerhana dengan langsung melihatnya.<sup>9</sup> Berbeda dengan persoalan penentuan awal bulan Kamariah dan juga permasalahan awal waktu salat serta arah kiblat yang mendapat perhatian khusus dari kalangan umat muslim khususnya dari para tokoh dan pegiat ilmu Falak yang mengundang banyak perdebatan dan perselisihan pendapat.

Untuk mengetahui kapan mulai terjadinya gerhana, umat Islam tidak bisa hanya mengandalkan teknik *rukyah*. Penyebabnya adalah fenomena gerhana bisa selesai sebelum salat dimulai. Oleh karenanya perlu adanya suatu perhitungan yang mampu memprediksi kapan

---

<sup>8</sup> Sa'di Abu Habieb, *Persepakatan Ulama dalam Hukum Islam*, diterjemahkan oleh KH. M. Sahal Mahfudz dan KH. A. Mustafa Bisri dari "*Ensiklopedi Ijma*", Jakarta : PT Pustaka Firdaus, 2006, cet IV, hal. 709.

<sup>9</sup> Ahmad Izzuddin, *Ilmu Falak (Metode Hisab-Rukyah dan Solusi Permasalahannya)*, Semarang :Komala Grafika, 2006, hal. 79.



terjadinya gerhana secara tepat sehingga umat Islam bisa melaksanakan salat gerhana dengan leluasa.

Menurut Gunawan Admiranto alam semesta pada dasarnya mengikuti hukum-hukum yang bersifat kuantitatif. Sebagai bagian dari alam, fenomena gerhana-pun tidak terlepas dari hukum keteraturan yang bersifat matematis<sup>10</sup>. Gerhana Matahari dan Bulan memiliki keteraturan setelah suatu periode waktu selama 223 *lunasi* (1 *lunasi* = rata-rata 1 Bulan sinodik = 29 hari 12 jam 44 menit 3 detik) atau sekitar 6585  $\frac{1}{3}$  hari, yaitu 18 tahun, 10 atau 11 hari dan 8 jam. Periode ini dinamakan dengan periode *saros*.<sup>11</sup>

Peristiwa gerhana merupakan fenomena langit yang tidak dapat dipisahkan dari masalah penentuan bulan baru, karena masing-masing terjadi ketika Bulan berada pada kedudukan konjungsi dan oposisi dengan Matahari, oleh karena itu waktu terjadi gerhana dapat diprediksi melalui metode perhitungan/metode *hisab*.<sup>12</sup>

Di Indonesia sendiri banyak tokoh ilmu falak yang sudah menelurkan karya-karya berupa kitab yang secara spesifik membahas tentang gerhana dengan berbagai pendekatan baik itu *hakiki taqribi* maupun *hakiki tahkiki* yang sudah menggunakan data-data kontemporer. Di antaranya adalah KH. Zubaer Umar al-Jaelany dengan karyanya kitab *al-Khulasah al-Wafiyyah*, KH. Abdul Djalil Kudus dengan kitab *Fathu Rauf*

---

<sup>10</sup> Gunawan Admiranto, *Menjelajah Tata Surya*, Yogyakarta : Penerbit Kanisius, 2009, hal. 4

<sup>11</sup> Ahmad Izzuddin, *Ilmu Falak*,... hal. 85

<sup>12</sup> Direktorat Jenderal Badan Peradilan Agama, *Almanak Hisab Rukyah*, Jakarta: Mahkamah Agung RI, 2007, hal. 169.

*al-Mannan*, kitab *al-Sulam an-Nayyirain* karya Manshur al-Battawi, kitab *Nur al-Anwar dan Syams al-Hilal* karya KH. Noor Ahmad SS, kitab *Irsyad al-Murid* karya KH. Ahmad Ghozali dan karya-karya ulama lainnya.

Di samping para tokoh ulama ahli falak di atas, ada pula tokoh fisikawan Indonesia yang mempunyai konsern terhadap keilmuan falak di antaranya adalah Thomas Djamaludin, Hendro Setyanto, Ma'rufin Soedibyo, Agus Purwanto, Rinto Anugraha dan lain-lain. Mereka banyak melakukan kajian-kajian dengan pendekatan astronomis kontemporer terkait arah arah kiblat, waktu salat, awal bulan maupun gerhana. Buku-buku yang terkait falak modern-pun telah banyak terlahir dari tangan mereka.

Salah satunya adalah buku *Mekanika Benda Langit* karya Rinto Anugraha yang merupakan fisikawan Indonesia yang mendapat gelar Doktor Fisika dari Kyushu University Jepang dan saat ini menjabat sebagai dosen fisika Universitas Gajah Mada Yogyakarta. Beliau memiliki kompetensi di bidang fisika terkait dengan relativitas umum, kosmologi, fisika matematik, elektromagnetika, *liquid crystal*, simulasi magnetik, dan *chaos*, sementara dalam ilmu hisab beliau menguasai teori dan komputasi.<sup>13</sup>

---

<sup>13</sup> Rinto Anugraha, *Mekanika Benda Langit*, Yogyakarta : Jurusan Fisika FMIPA UGM, 2012, hal.200

Dalam buku Mekanika Benda Langit karya Rinto Anugraha banyak dijelaskan permasalahan terkait macam-macam waktu, kalender, Bumi dan koordinat bola, sistem koordinat, posisi Matahari dan Bulan serta gerhana dengan penjelasan secara astronomis dan matematis. Terkait gerhana sendiri beliau sepenuhnya menggunakan model algoritma Jean Meeus, dalam perhitungan gerhana beliau menggunakan *Elements Bessel* (angka-angka Bessel) yang merupakan perpaduan algoritma VSOP87 untuk pergerakan Matahari dan ELP2000-82 untuk Bulan. *Elements Bessel* digunakan untuk menentukan tempat (bujur dan lintang) di Bumi yang terkena garis umbra, lebar garis umbra, lama maksimum gerhana di tempat tersebut, ketinggian matahari, azimuth yang di amati dari tempat tersebut dan lain-lain.<sup>14</sup>

Dari metode perhitungan gerhana tersebut penulis tertarik untuk lebih mengetahui dan menganalisa algoritma hisab gerhana Matahari dalam buku Mekanika Benda Langit sekaligus membandingkannya dengan data NASA. Penelitian ini penulis angkat melalui judul skripsi **“Studi Analisis Metode Hisab Gerhana Matahari Menurut Rinto Anugraha Dalam Buku Mekanika Benda Langit”**.

## **B. Rumusan Masalah**

---

<sup>14</sup> Rinto Anugraha, *Mekanika,...hal. 143*

Berdasarkan dari uraian latar belakang di atas, maka dapat dikemukakan pokok-pokok rumusan masalah yang akan dibahas dalam skripsi ini, yaitu:

1. Bagaimana algoritma hisab gerhana Matahari yang dikemukakan oleh Rinto Anugraha dalam buku Mekanika Benda Langit ?
2. Bagaimana akurasi hasil hisab gerhana Matahari Rinto Anugraha dalam buku Mekanika Benda Langit ?

### **C. Tujuan Penelitian**

Adapun tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Untuk mengetahui algoritma hisab gerhana Matahari Rinto Anugraha dalam buku Mekanika Benda Langit.
2. Untuk mengetahui akurasi hasil hisab gerhana Matahari Rinto Anugraha dalam buku Mekanika Benda Langit

### **D. Signifikansi dan Manfaat Penelitian**

Manfaat yang hendak dicapai dalam penelitian ini adalah :

1. Dalam rangka menambah khazanah keilmuan falak terutama menyangkut sains gerhana Matahari.
2. Memberikan ulasan algoritma hisab gerhana Matahari Jean Meeus yang sistematis dan mudah dipahami.

3. Memberi manfaat secara teori dan aplikasi dalam menghisab gerhana Matahari.
4. Sebagai bahan rujukan bagi mahasiswa falak maupun umum untuk penelitian lebih lanjut.

#### **E. Tinjauan Pustaka**

Untuk mengetahui orisinalitas penelitian ini maka diperlukan penelitian-penelitian terdahulu yang mempunyai fokus kajian yang sama agar dapat diketahui letak perbedaan antara penelitian penulis dengan peneliti-peneliti sebelumnya.

Di antara penelitian yang membahas tentang gerhana ialah penelitian metode hisab gerhana Bulan oleh Wahyu Fitria dalam skripsinya yang berjudul “*Studi Komparatif Hisab Gerhana Bulan dalam Kitab al-Khulasoh al-Wafiyah dan Ephemeris*.”<sup>15</sup> Hasil penelitiannya berupa uraian faktor-faktor penyebab perbedaan tingkat akurasi antara al-Khulasoh al-Wafiyah dengan sistem hisab Ephemeris yang dipakai oleh Kementrian Agama. Faktor-faktor tersebut ialah yang pertama, perbedaan sumber data yang diambil dan *kedua*, proses pembulatan angka. Penelitian ini berbeda dengan penulis, karena penelitian Wahyu Fitria tentang gerhana Bulan al-Khulasoh al-Wafiyah dengan sistem hisab Ephemeris sedangkan penelitian penulis terfokus pada gerhana matahari Jean Meeus.

---

<sup>15</sup> Wahyu Fitria, *Studi Komparatif Hisab Gerhana Bulan dalam Kitab al-Khulasoh al-Wafiyah dan Ephemeris*, Skripsi Fakultas Syari’ah IAIN Walisongo Semarang 2011.

Skripsi Zainudin Nurjaman yang berjudul “Sistem Hisab Gerhana Bulan Analisis Pendapat KH. Noor Ahmad SS dalam kitab *Nur al-Anwar*”, menjelaskan tentang metode hisab gerhana Bulan dalam kitab *Nur al-Anwar* karya KH. Noor Ahmad SS merupakan sistem hisab yang berpijak pada teori heliosentris dan termasuk dalam kategori hisab *hakiki tahkiqi*. Data astronomisnya berasal dari data *Mathla' as-Said* dengan menggunakan *epoch* Jepara. Metode hisabnya menggunakan nilai batas eklipsis 12 derajat dan dapat dipertanggung jawabkan secara ilmiah. Rumus-rumus trigonometrinya merupakan hasil modifikasi dan transformasi bentuk rumus dari rumus-rumus logaritma yang ada dalam kitab al-Khulasoh al-Wafiyah ke dalam rumus-rumus trigonometri. Penelitian ini mempunyai perbedaan dengan penulis karena penelitian penulis menggunakan buku yang menggunakan basis data Jean Meeus.<sup>16</sup>

Penelitian oleh Ahmad Ma'ruf Maghfur yang berjudul “Studi Analisis Hisab Gerhana Bulan dan Matahari dalam Kitab *Fath al-Ra'uf al-Mannan*. Dalam skripsi tersebut dikemukakan bahwa kitab *Fath al-Ra'uf al-Mannan* masih memakai metode klasik, yakni metode hisab *hakiki taqribi*. Sedangkan hasil perhitungannya jika dibandingkan perhitungan modern saat ini, yakni hasil perhitungan dari NASA yang kebenaran dan keakurasiannya sudah dapat dipertanggung jawabkan, kitab *Fath al-Ra'uf al-Mannan* memiliki selisih perbedaan hasil yang jelas tidak sama. Selisih dari hasil-hasil perhitungan di atas tidak konsisten ada yang terlalu

---

<sup>16</sup> Zainudin Nurjaman, *Sistem Hisab Gerhana Bulan Analisis Pendapat KH. Noor Ahmad SS dalam Kitab Nur al-Anwar*, Skripsi Fakultas Syari'ah IAIN Walisongo, Semarang 2012.

signifikan ada pula yang tidak terlalu signifikan. Oleh karena itu hasil perhitungan *Fath al-Ro'uf al-Mannan* tidak dapat dijadikan sebagai acuan utama dalam menentukan gerhana Bulan dan gerhana Matahari secara hakiki. Penelitian ini hampir sama dengan penulis perbedaannya adalah penelitian penulis berfokus pada gerhana Matahari serta menggunakan metode kontemporer versi Rinto Anugraha dalam buku *Mekanika Benda Langit*.

Selanjutnya skripsi yang berjudul “*Studi Analisis Hisab Gerhana Bulan dalam Kitab Ittifaq Dzāt al-Bain Karya KH. Zubaer Abdul Karim*.”<sup>17</sup> yang disusun oleh Mambaul Hikmah. Dalam skripsinya dijelaskan bahwa kitab *Ittifaq Dzāt al-Bain* tidak memberikan kriteria ketika piringan Bulan mulai menyentuh bayangan umbra Bumi. Kitab *Ittifaq Dzāt al-Bain* hanya menyuguhkan kriteria ketika bulan mulai menyentuh bayangan penumbra dan masuk dalam bayangan umbra Bumi. Hal itu dapat dilihat dengan perbedaan hasil yang sangat tipis ketika keadaan gerhana Bulan penumbra dan total. Karena dalam kitab ini memberikan kriteria jarak kemungkinan gerhana Bulan dalam 12 derajat dari titik simpul. Penelitian ini hampir sama dengan penelitian Wahyu Fitria, perbedaan penelitian ini dengan penelitian penulis kitab yang diteliti oleh Mambaul Hikmah termasuk ke dalam kitab *hakiki tahkiki* sedangkan penulis menggunakan buku kontemporer.

---

<sup>17</sup> Mamba'ul Hikmah, *Studi Analisis Hisab Gerhana Bulan dalam Kitab Ittifaq Dzāt al-Bain Karya KH. Zubaer Abdul Karim*, Skripsi Fakultas Syari'ah UIN Walisongo Semarang, 2011.

Skripsi yang dilakukan oleh Sukarni berjudul “Metode Hisab Gerhana Bulan Ahmad Ghozali dalam Kitab *Irsyad al-Murid*.”<sup>18</sup> Dalam skripsinya dijelaskan bahwa kitab *Irsyad al-Murid* menggunakan metode kontemporer yakni dalam menghitung posisi Bulan dan Bumi sudah menggunakan koreksi yang cukup teliti atas gerakan Bulan dan Bumi yang tidak beraturan. Kitab ini banyak merujuk kepada buku karangan Jean Meeus yakni *Astronomical Algorithms* hanya saja penulis dalam kitab berbeda dalam menentukan nilai  $T$ <sup>19</sup> selain itu penulis kitab ini menggunakan *frac*<sup>20</sup> untuk mengambil nilai dibelakang koma, sedangkan pada Jean Meeus tidak menggunakannya. Hal ini dikarenakan Ahmad Ghozali menggunakan *epoch* data Hijriyah dalam menginput data sedangkan pada Jean Meeus menggunakan *epoch* data masehi. Meskipun berbeda namun hal ini tidak menjadikan hasil kitab *Irsyad al-Murid* tidak akurat karena hasil perhitungan gerhana dalam kitab ini tidak terpaut jauh dengan perhitungan NASA. Hal yang membedakan penelitian ini dengan penelitian penulis ialah pada fokus kajian dimana penulis berfokus pada perhitungan gerhana Matahari dan objek yang dikaji penulis yakni buku Mekanika Benda Langit yang sepenuhnya berangkat dari konsep algoritma Jean Meeus.

---

<sup>18</sup> Sukarni, *Metode Hisab Gerhana Bulan Ahmad Ghozali dalam Kitab Irsyad al-Murid*, Skripsi Fakultas Syari’ah UIN Walisongo Semarang, 2014.

<sup>19</sup>  $T$  adalah the time in julian centuris since the *epoch* 2000.0 atau abad yang dilalui dari tahun *epoch* sampai tahun yang dihitung. Lihat Jean Meeus, *Astronomical Algorithms*, Virginia, Wilmann Bell. Inc. 1991 hal. 320.

<sup>20</sup> *Frac* adalah perpanjangan dari *fraction* salah satu fungsi matematik yang berfungsi mengambil nilai di belakang koma. *Ibid*



Skripsi yang mempunyai fokus kajian sama yakni *hisab* gerhana Matahari oleh Khotibul Umam yang berjudul “ *Metode Hisab Gerhana Matahari KH. Ahmad Ghozali dalam Kitab Irsyad al-Murid.*”<sup>21</sup> Dari skripsi ini diperoleh gambaran yang tidak jauh berbeda dari skripsi Sukarni hanya saja fokus kajiannya bertolak pada *hisab* gerhana Matahari sementara Sukarni berfokus pada gerhana Bulan. Keduanya menggunakan sumber atau obyek yang sama yakni kitab *Irsyad al-Murid* karangan Ahmad Ghozali. Meskipun skripsi ini sama-sama membahas gerhana Matahari seperti halnya penulis akan tetapi ada perbedaan yakni pada model perhitungan yang dipakai maupun data yang digunakan yang tidak sepenuhnya sama karena Ahmad Ghozali sendiri telah memodifikasi perhitungan gerhana dalam kitabnya seperti pada perumusan  $T$ ,  $Frac$  dan  $epoch$  yang digunakan.

Dari berbagai penelitian yang telah dilakukan sebelumnya kebanyakan para peneliti tersebut menggunakan pembahasan gerhana Bulan dan masih sedikit yang menelisik gerhana Matahari. Untuk itulah penulis membahas gerhana Matahari sebagai bahan tambahan rujukan bagi para peneliti mendatang untuk dapat mengeksplorasi keunikan maupun metode perhitungan gerhana Matahari yang tertuang dalam buku *Mekanika Benda Langit* karya Rinto Anugraha.

---

<sup>21</sup> Khotibul Umam, *Metode Hisab Gerhana Matahari KH. Ahmad Ghozali dalam Kitab Irsyad al-Murid*, Skripsi Fakultas Syari'ah UIN Walisongo Semarang, 2014.

## F. Metode Penelitian

### 1) Jenis Dan Pendekatan Penelitian

Dalam penelitian ini penulis menggunakan jenis penelitian kualitatif<sup>22</sup> karena penelitian ini menekankan pada kajian teks. Penelitian ini tergolong penelitian kepustakaan (*Library Research*) yaitu penelitian yang dilakukan dengan menelaah bahan-bahan pustaka dengan fokus pada buku Mekanika Benda Langit karya Rinto Anugraha.

### 2) Sumber Dan Jenis Data

Apabila dilihat dari sumber datanya, maka pengumpulan data dapat menggunakan data primer dan sekunder.

#### a. Data Primer

Data primer atau data tangan pertama adalah data yang diperoleh langsung dari subjek penelitian sebagai sumber informasi yang dicari.<sup>23</sup> Data primer yang digunakan dalam penelitian ini adalah buku Mekanika Benda Langit karya Rinto Anugraha serta hasil *interview* langsung dengan beliau.

#### b. Data Sekunder

---

<sup>22</sup> Metode kualitatif merupakan prosedur penelitian yang menghasilkan data deskriptif berupa kata-kata tertulis atau lisan dari orang-orang dan perilaku yang dapat diamati. Basrowi dan Suwandi, *Memahami Penelitian Kualitatif*, jakarta : Rineka Cipta, Cet. Ke-1, th 2008, hal. 21.

<sup>23</sup> Saifudin Azwar, *Metode Penelitian*, Yogyakarta : Pustaka Pelajar, Cet. Ke-1, th 1998, hal 91.

Data sekunder atau data tangan kedua adalah data yang diperoleh lewat pihak lain, tidak langsung diperoleh oleh peneliti dari subjek penelitiannya.<sup>24</sup> Data sekunder diperoleh penulis dari data dokumentasi berupa tulisan-tulisan tentang gerhana, ensiklopedi, kamus, artikel-artikel, buku-buku dan jurnal. Penulis menggunakan buku Jean Meeus yaitu “*Astronomical Algorithms*”, “*Elements of Solar Eclipses 1951-2200*” dan *report NASA* yang terdapat dalam websitenya sebagai data sekunder.

### 3) Teknik Pengumpulan Data

Untuk memperoleh data yang diperlukan dalam penelitian ini penulis menggunakan teknik pengumpulan data sebagai berikut :

#### a. Dokumentasi

Penulis memperoleh data yang diperlukan di penelitian ini dengan membaca buku Mekanika Benda Langit karya Rinto Anugraha, selain itu penulis mengumpulkan tulisan-tulisan atau data yang berkaitan dengan gerhana. Studi dokumen<sup>25</sup> dilakukan karna hasil penelitian lebih kredibel apabila didukung oleh karya tulis akademik.

---

<sup>24</sup> Saifudin Azwar, *Metode Penelitian*,...hal 91

<sup>25</sup> Dokumen merupakan catatan peristiwa yang sudah berlalu. Dokumen bisa berbentuk tulisan, gambar atau karya-karya monumental dari seseorang. Studi dokumen merupakan pelengkap dari penggunaan metode observasi dan wawancara dalam penelitian kualitatif. Sugiono, *Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif dan R & D*, Bandung : Alfabeta, th 2008 hal. 240.

b. Wawancara (*interview*)

Penulis menggunakan wawancara sebagai teknik pengumpulan data untuk mengumpulkan informasi dan mengetahui hal-hal dari responden yang lebih mendalam.<sup>26</sup> Wawancara dilakukan kepada Rinto Anugraha selaku pengarang buku *Mekanika Benda Langit*.

4) Teknik Analisis Data

Data penelitian yang telah diperoleh selanjutnya penulis analisis dengan beberapa teknik diantaranya :

Analisis pertama yang digunakan adalah metode *content analysis* (analisis isi) yaitu sebuah metodologi yang memanfaatkan prosedur untuk menarik kesimpulan dari suatu dokumen<sup>27</sup>. Hal ini dilakukan guna mendeskripsikan dan mengkaji metode *hisab gerhana Matahari* dalam buku *Mekanika Benda Langit*.

Setelah menggunakan analisis pertama selanjutnya penulis menggunakan metode analisis deskriptif,<sup>28</sup> sehingga diperoleh gambaran data yang sistematis dan dimungkinkan untuk diambil kesimpulan. Dalam hal ini penulis menggambarkan secara umum

---

<sup>26</sup> Wawancara adalah proses tanya jawab dalam penelitian yang berlangsung secara lisan dalam mana dua orang atau lebih bertatap muka mendengarkan secara langsung informasi-informasi atau keterangan-keterangan. Cholid Narbuko dan Abu Achmadi, *Metodologi Penelitian*, Jakarta : Bumi Aksara, th 2010, hal. 83.

<sup>27</sup> Djam'an Satori, *Metodologi Penelitian Kulaitatif*, Bandung : Alfabeta, th 2009, hal. 157.

<sup>28</sup> Analisis deskriptif yaitu menggambarkan sifat atau keadaan yang dijadikan objek dalam penelitian. Tim Penyusun Fakultas Syari'ah IAIN Walisongo, *Pedoman Penulisan Skripsi*, Semarang : Fakultas Syari'ah IAIN Walisongo, th 2008, hal. 13.

metode perhitungan gerhana Matahari, kemudian menguraikan secara jelas konsep Rinto Anugraha tentang metode perhitungan gerhana Matahari serta tingkat keakurasiannya.

Setelah digunakan analisis ini selanjutnya penulis menggunakan analisis komparasi guna mengukur tingkat akurasi metode hisab gerhana Matahari dalam buku Mekanika Benda Langit dengan data gerhana Matahari dari NASA yang ditampilkan pada website resminya yang secara spesifik membahas gerhana Matahari. Alamat website tersebut adalah [www.eclipse.gsfc.nasa.gov/solar.html](http://www.eclipse.gsfc.nasa.gov/solar.html).

## **G. Sistematika Penulisan**

Penelitian ini dibagi menjadi lima bab yang secara garis besar adalah sebagai berikut :

Bab pertama yaitu pendahuluan, bab ini meliputi latar belakang masalah, selanjutnya rumusan masalah yang menjadi topik utama penelitian, tujuan penelitian, manfaat penelitian, tinjauan pustaka, metode penelitian dan terakhir sistematika penelitian.

Bab kedua berisi tinjauan umum gerhana, yang meliputi pengertian umum gerhana, syarat-syarat terjadinya gerhana Matahari, macam-macam gerhana Matahari, periodisasi gerhana, fakta-fakta tentang gerhana,

tinjauan syar'i terhadap gerhana, dan algoritma gerhana Matahari Jean Meeus.

Bab ketiga yaitu metode perhitungan gerhana dalam buku Mekanika Benda Langit yang meliputi biografi intelektual si pengarang yaitu Rinto Anugraha, gambaran umum tentang buku Mekanika Benda Langit dan metode *hisab* gerhana Matahari dalam buku tersebut.

Bab keempat berisi analisis metode *hisab* gerhana Matahari dalam buku Mekanika Benda Langit yang meliputi analisis hasil *hisab* gerhana Matahari dan akurasinya.

Bab kelima merupakan bab terakhir dalam penelitian ini yang berisi kesimpulan, saran-saran dan penutup.

## BAB II

### GAMBARAN UMUM GERHANA MATAHARI

#### A. Pengertian Gerhana

Gerhana dalam bahasa Inggris adalah *eclipse*<sup>1</sup>. Istilah ini digunakan secara umum baik gerhana Matahari maupun gerhana Bulan. Namun dalam penyebutannya, terdapat dua istilah yaitu *eclipse of the sun* untuk gerhana Matahari dan *eclipse of the moon* untuk gerhana Bulan.<sup>2</sup> Selain itu ada juga yang menggunakan *solar eclipse* untuk gerhana Matahari, dan *lunar eclipse* untuk gerhana Bulan. Sedangkan dalam bahasa Arab dikenal dengan istilah *kusuf* atau *khusuf*<sup>3</sup>. Pada dasarnya istilah *kusuf* dan *khusuf* dapat digunakan untuk menyebut gerhana Matahari atau gerhana Bulan. Hanya saja kata *kusuf* lebih dikenal untuk menyebut gerhana Matahari, sedangkan kata *khusuf* untuk gerhana Bulan<sup>4</sup>.

Di antara istilah-istilah tersebut, istilah Arab lah yang paling mendekati pada pengertian sebenarnya, yaitu kata *kusuf* dan *khusuf* yang pada dasarnya bisa digunakan untuk menyebut kedua jenis gerhana tersebut. *Kusuf* berarti menutupi, menggambarkan adanya fenomena alam bahwa (dilihat dari Bumi) Bulan menutupi Matahari, sehingga terjadi gerhana Matahari, sedangkan

---

<sup>1</sup> John M. Echols-Hasan Syadily, *Kamus Indonesia-Inggris*, Jakarta : PT Gramedia, edisi ke-3, th. 2007, hal. 187

<sup>2</sup> A S Hornby, *Oxford Advanced Learner's Dictionary of Current English*, Great Britain : OXFORD UNIVERSITY PRESS, 5<sup>th</sup> ed., th. 1995, hal. 367

<sup>3</sup> Asad M. Alkalili, *Kamus Indonesia Arab*, Jakarta : PT BulanBintang, cet. Ke-3, th. 1993, hal. 157

<sup>4</sup> Mukhyidin Khazin, *Ilmu Falak Dalam Teori dan Praktek*, Yogyakarta : Buana Pustaka, cet. Ke-3, th. 2004, hal. 187

*khusuf* berarti *memasuki*, menggambarkan fenomena alam bahwa Bulan memasuki bayangan Bumi, hingga terjadi gerhana Bulan.

*Kusuf* menurut bahasa berarti berubah menjadi hitam. Dikatakan كسفت , artinya keadaan telah berubah, كسفت وجهه, artinya wajahnya berubah, dan كسفت الشمس, artinya Matahari menjadi gelap dan hilang pancaran sinarnya. Sedangkan *khusuf* menurut bahasa berarti kekurangan. Dikatakan يخسف خسوفا, artinya tempat tersebut telah menghilang di Bumi. Kata ini diambil dari kalimat خسف القمر, artinya Bulan telah menghilang cahayanya.<sup>5</sup>

Jadi kata *kusuf* dan *khusuf* bagi Matahari dan Bulan bermakna perubahan dan berkurangnya sinar keduanya. Kedua kalimat ini memiliki arti yang sama dan keduanya digunakan pada hadist-hadist shahih, sedangkan al Qur'an menggunakan kata *khusuf* untuk Bulan. Sedangkan makna *kusuf* dan *khusuf* menurut istilah adalah terhalangnya seluruh atau sebagian sinar Matahari atau Bulan dikarenakan suatu sebab alamiah, yaitu Allah menakut-nakuti hambanya dengannya. Atas dasar inilah kata *kusuf* dan *khusuf* adalah sinonim, yang memiliki arti yang sama. Maka dikatakan كسفت الشمس وخسفت, artinya Matahari berkurang cahayanya dan menjadi gelap (mengalami gerhana) dan كسف القمر وخسف, artinya Bulan berkurang cahayanya dan menjadi gelap.<sup>6</sup>

---

<sup>5</sup> Atabik Ali & Ahmad Zuhdi Muhdlor, *Kamus Kontemporer Arab-Indonesia*, Yogyakarta : Multi Karya Grafik, cet IX, th. 1988, hal. 835

<sup>6</sup> Al Imam Al Hafidz Ibnu Hajar Al-Asqalani, *Fathul Baari Jilid 6*, Jakarta : Pustaka Azzam, cet. Ke-3, th. 2011, hal. 2



firman Allah swt QS. al Qiyamah ayat 8 :

وَحَسَفَ الْقَمَرُ

Artinya : “Dan apabila Bulan telah hilang cahayanya.<sup>7</sup>”

## B. Kriteria Gerhana Matahari

Ditinjau dari kenampakan gerhana Matahari yang terlihat di permukaan Bumi dapat dibagi menjadi tiga kriteria secara umum yaitu :

### 1. Gerhana Matahari total (*Total Eclipse*)

Gerhana Matahari yang dikategorikan sebagai gerhana total ialah apabila saat puncak gerhana, piringan Matahari tertutup sepenuhnya oleh piringan Bulan yang mana kerucut umbra mengenai Bumi. Pada gerhana sentral, sumbu bayangan Bulan mengenai permukaan Bumi yang dikenal dengan istilah garis sentral (*central line*) dimana garis ini menghubungkan pusat cakram Bulan ke pusat cakram Matahari. piringan Bulan sama besar atau lebih besar dari piringan Matahari. ukuran piringan Matahari dan piringan Bulan sendiri berubah-ubah tergantung pada masing-masing jarak Bumi-Bulan dan Bumi-Matahari.

Untuk proses gerhana Matahari sempurna atau total maka terjadi empat kali kontak yaitu :

---

<sup>7</sup> Departemen Agama Republik Indonesia, *Alquran Dan Terjemahnya*, Semarang : CV. ALWAAH, th. 1993, hal. 998

- 1) Kontak pertama adalah ketika piringan Bulan mulai menyentuh piringan Matahari, pada posisi ini mulai menyentuh gerhana.
- 2) Kontak kedua adalah ketika seluruh piringan Bulan sudah menutupi piringan Matahari pada posisi ini waktu mulai total.
- 3) Kontak ketiga adalah ketika piringan Bulan mulai bergeser untuk keluar dari piringan Matahari, posisi ini merupakan waktu akhir total.
- 4) Kontak keempat adalah ketika seluruh piringan Bulan sudah keluar dari piringan Matahari, posisi ini menandakan waktu akhir gerhana.

## 2. Gerhana Matahari sebagian (*Partial Eclipse*)

Gerhana sebagian terjadi apabila piringan Bulan (saat puncak gerhana) hanya menutupi sebagian dari piringan Matahari. Pada bagian ini, selalu ada piringan matahari yang tidak tertutup piringan Bulan dimana hanya sebagian dari kerucut umbra yang mengenai Bumi. Proses gerhana Matahari sebagian hanya terjadi dua kali kontak yaitu :

- 1) Kontak pertama adalah ketika piringan Bulan mulai menyentuh piringan Matahari. Posisi ini menunjukkan waktu mulai gerhana.
- 2) Kontak kedua ketika piringan Bulan sudah keluar lagi dari piringan Matahari, pada posisi ini gerhana sebagian telah berakhir.

## 3. Gerhana Matahari cincin (*Annular Eclipse*)

Gerhana cincin terjadi apabila piringan Bulan saat puncak gerhana hanya menutup sebagian dari piringan Matahari atau gerhana sentral yang

mana perpanjangan kerucut umbra mengenai Bumi. Gerhana jenis ini terjadi bila ukuran piringan Bulan lebih kecil dari piringan Matahari, sehingga ketika piringan Bulan berada di depan piringan Matahari, tidak seluruh piringan Matahari akan tertutup oleh piringan Bulan. Bagian piringan Matahari yang tidak tertutup oleh piringan Bulan, berada di sekitar piringan Bulan dan terlihat seperti cincin yang bercahaya. Untuk proses gerhana Matahari cincin terjadi empat kali kontak seperti halnya gerhana Matahari total<sup>8</sup>

Dari ketiga kriteria yang telah disebutkan di atas, menjadi sebuah pemahaman umum karena intensitas kejadiannya lebih tinggi. Namun selaras dengan perkembangan ilmu pengetahuan ternyata kriteria gerhana Matahari sesungguhnya ada 6 kriteria, yakni :

- 1) Tipe P : tipe gerhana matahari parsial, dimana hanya sebagian dari kerucut umbra Bulan yang mengenai Bumi. Pengamat melihat (*region of visibility*) hanya dapat melihat sebuah gerhana parsial.
- 2) Tipe T: tipe gerhana total yaitu gerhana sentral yang mana kerucut umbra mengenai Bumi. Pada gerhana sentral sumbu bayangan Bulan mengenai permukaan Bumi. Pada jenis gerhana ini, dikenal istilah garis sentral (*central line*) dimana garis ini menghubungkan pusat cakram Bulan ke pusat cakram Matahari.

---

<sup>8</sup> Ahmad Izzuddin, *Ilmu Falak (Metode Hisab-Rukyah dan Solusi Permasalahannya)*, Semarang :Komala Grafika, 2006, hal 86

- 3) Tipe A : tipe gerhana cincin yaitu gerhana sentral yang mana perpanangan kerucut umbra mengenai Bumi.
- 4) Tipe A—T : tipe cincin –total (*hybrid*) yaitu gerhana sentral dimana sebagian gerhana berupa gerhana total sedang sebagian lainnya berupa gerhana cincin.
- 5) (T) : gerhana non-sentral total, dimana hanya sebagian dari kerucut umbra yang mengenai permukaan Bumi (yaitu di daerah kutub), tetapi sumbu kerucut umbra tidak mengenai permukaan Bumi, sehingga gerhana ini bukan gerhana sentral.
- 6) (A) : gerhana non-sentral cincin, dimana hanya sebagian dari perpanjangan kerucut umbra yang mengenai (yaitu daerah kutub), tetapi sumbu kerucut umbra tidak mengenai permukaan Bumi.<sup>9</sup>

Berdasarkan kriteria gerhana Matahari, menunjukan bahwa dalam setahun kalender, maksimum terdapat 5 kali gerhana Matahari. dalam rentang 4000 tahun sejak tahun -600 hingga tahun 3400, secara perhitungan hanya terdapat 14 tahun yang memiliki 5 kali gerhana Matahari dalam setahun, yaitu tahun -568, -503, -438, -373, 1255, 1805, 1935, 2206, 2709, 2774, 2839, 2904, 3295, dan 3360. Begitu juga jumlah gerhana Matahari paling sedikit dalam setahun adalah 2 kali. Kedua-duanya dapat berupa gerhana Matahari parsial, sebagaimana pada tahun 1996 dan 2004. Jumlah maksimum gerhana Bulan dalam setahun kalender adalah 5 buah.

---

<sup>9</sup> Rinto Anugraha, *Mekanika Benda Langit*, Yogyakarta : Jurusan Fisika FMIPA UGM, th. 2012, hal. 127. Lihat juga Jean Meeus, *Elements of Solar Eclipses 1951-2200*, Virginia: Willmann Bell Inc., th. 1989, hal. 5

Seluruh gerhana Matahari dalam satu tahun dapat berupa tipe P, sebagai contoh pada tahun 1996 (dua gerhana), tahun 2018 (tiga gerhana) dan tahun 2000 (empat gerhana). Pada tahun-tahun tersebut tidak ada gerhana total dan cincin. Dalam setahun, maksimum terdapat dua kali gerhana Matahari total contohnya pada tahun 2057 dan tidak akan mungkin terdapat tiga gerhana matahari total dalam setahun, bahkan jika dimasukan gerhana dengan tipe A-T dan (T).<sup>10</sup>

### C. Periodisasi Gerhana

#### Periode Saros Gerhana

Semenjak zaman dahulu kala pengamatan terhadap kejadian gerhana telah banyak dilakukan, sejarah mencatat bahwa pengamatan terhadap gerhana telah dilakukan semenjak zaman Babilonia. Bahkan semenjak abad ke-9 bangsa Chaldean telah mengamati siklus dari gerhana. Berdasarkan hasil pengamatan mereka diketahui bahwa gerhana yang mirip akan terulang kira-kira setiap 18 tahun 10 hari. Periode inilah yang dikenal dengan istilah *saros* (pengulangan).

Seluruh gerhana baik gerhana Matahari atau Bulan dengan nomor saros yang sama masing-masing terpisahkan sejauh 18 tahun 11  $\frac{1}{3}$  hari. Dengan mengetahui tanggal kejadian suatu gerhana setelah satu siklus saros akan terjadi lagi gerhana yang identik dengan gerhana sebelumnya tersebut.

Gerhana-gerhana yang dipisahkan oleh satu periode saros memiliki karakteristik yang sangat mirip, dan dikelompokkan ke dalam satu keluarga

---

<sup>10</sup> Rinto Anugraha, *Mekanika Benda Langit*,... hal. 130

yang dinamakan seri saros. Seri saros gerhana Matahari dapat di gambarkan sebagai berikut :

Jika sebuah seri saros dimulai saat Bulan berada  $\sim 18^\circ$  dari titik naik turun, maka :

1. Umbra akan melewati 3500 km dari pusat Bumi. Saat itu terjadi gerhana Matahari sebagian di kutub selatan.
2. Gerhana berikutnya terjadi dengan umbra berada 300 km lebih dekat.
3. Setelah sekitar 10-11 gerhana Matahari dengan rentang antara 200 tahun, maka akan terjadi gerhana Matahari sentral yang pertama di kutub selatan.
4. Sampai sekitar  $\sim 950$  tahun berikutnya terjadi gerhana yang bergeser dari selatan menuju ke utara dengan pergeseran  $\sim 300$  km.
5. Pada sekitar pertengahan periode  $\sim 950$  tahun pada poin di atas, akan terjadi gerhana Matahari terpanjang yang ada di equator.
6. Satu seri saros dari mulai lahir sampai matinya, memakan waktu kurang lebih 13 abad. Setiap seri saros ini beranggotakan 70-80 buah gerhana, dengan 50 diantaranya adalah gerhana sentral.

Jika sebuah seri saros gerhana Matahari dimulai saat Bulan berada disekitar titik tanjak naik, maka akan terjadi hal yang sama dengan arah yang berlawanan. Seri saros berkaitan dengan panjang interval-interval sebagai berikut :

1. Bulan Sinodis (*Synodic Month*) : interval waktu dari fase Bulan baru kembali ke Bulan baru. Panjang Bulansinodis 29,53059 hari =  $29^h 12^j 44^m$ .
2. Bulan Drakonis (*Draconic Month*) : interval waktu yang dibutuhkan Bulan untuk bergerak dari satu node kembali ke node tersebut. Panjang Bulan drakonis : 27,21222 hari =  $27^h 05^j 06^m$ .
3. Bulan Anomalistis (*Anomalistic Month*) : interval waktu yang dibutuhkan Bulan untuk bergerak dari *perigee* kembali ke *perigee*. Panjang Bulan anomalistis : 27,55455 hari =  $27^h 13^j 19^m$ .

Periode saros (18 tahun 10 hari lebih  $\frac{1}{3}$  hari) adalah 223 kali Bulan sinodis. Gerhana yang dipisahkan oleh 223 Bulan sinodis (6585,321 hari) itu kurang lebih sama dengan 242 Bulan drakonis (6585,357 hari). Artinya pada selang satu periode saros, Bulan kembali pada fase yang sama pada titik node yang sama juga.

Sementara itu, 223 Bulan sinodis juga kurang lebih sama dengan 239 Bulan anomalistis (6585,537 hari). Ini membuat selang satu periode saros selain mengembalikan Bulan pada fase yang sama pada titik node yang sama, juga mengembalikan Bulan pada jarak yang (kurang lebih) sama dari Bumi. karenanya gerhana yang dipisahkan oleh periode saros akan memiliki karakteristik yang mirip.

Akibat panjang periode saros yang panjang harinya memiliki pecahan (kira-kira  $\frac{1}{3}$ ), maka saat gerhana berikutnya yang terpisah oleh satu periode saros terjadi, Bumi telah berputar kira-kira  $\frac{1}{3}$  hari.

Karena itu lintasan gerhana yang dipisahkan oleh satu periode saros akan bergeser  $120^\circ$  ke arah barat, dan setiap 3 siklus saros (54 tahun 31 hari atau 19976 hari), gerhana bisa diamati pada wilayah geografis yang sama.

Seperti yang disebutkan di atas, gerhana-gerhana yang dipisahkan oleh periode saros dikelompokkan menjadi sebuah seri saros. Sebuah seri saros tidak akan bertahan selamanya. Seri saros lahir dan mati dan beranggotakan sejumlah gerhana tertentu. Seri saros ini tidak bertahan selamanya karena satu periode saros itu lebih pendek  $\frac{1}{2}$  hari dari 19 tahun gerhana. Akibatnya, setelah satu periode saros, titik node akan bergeser  $0,5^\circ$  ke arah timur. Karenanya, setelah lewat sejumlah periode saros tertentu, jarak titik node sudah sedemikian jauh dari Matahari/Bulan sehingga tidak memungkinkan lagi terjadinya gerhana. Saat itu terjadi, seri saros yang bersangkutan akan mati, dan seri saros baru akan lahir.<sup>11</sup>

#### **D. Tinjauan Syar'i Gerhana**

Segala fenomena yang terjadi di Bumi ini merupakan *sunnatullah* sebagai manifestasi atas keagungan dan kebesaranNya. Tidak terkecuali fenomena gerhana. Peristiwa gerhana sendiri bertujuan untuk mengingatkan manusia dan

---

<sup>11</sup> Muh. Rasywan Syarif, *Fiqh Astronomi Gerhana Matahari*, Tesis, Semarang : Program Pasca Sarjana UIN Walisongo, th. 2012, hal. 58-62



menakut-nakuti mereka, agar mereka kembali kepada Allah serta bertakwa kepadanya.<sup>12</sup>

Allah memberlakukan gerhana pada dua tanda kekuasaan-Nya yang agung (Bulan dan Matahari), agar para hamba dapat mengambil pelajaran dan mengetahui bahwa keduanya adalah ciptaan Allah yang juga memiliki kekurangan dan terjadi perubahan padanya, sebagaimana halnya dengan ciptaan Allah lainnya. Hal ini untuk menunjukkan kekuasaan-Nya yang maha sempurna dan bahwasanya hanya Dia-lah yang patut untuk diibadahi.<sup>13</sup>

a. Dalil al-Quran

1) QS. Fushshilat : 37

وَمِنْ آيَاتِهِ اللَّيْلُ وَالنَّهَارُ وَالشَّمْسُ وَالْقَمَرُ ۚ لَا تَسْجُدُوا لِلشَّمْسِ وَلَا لِلْقَمَرِ  
وَأَسْجُدُوا لِلَّهِ الَّذِي خَلَقَهُنَّ إِن كُنتُمْ إِيَّاهُ تَعْبُدُونَ ﴿٣٧﴾

Artinya : Dan diantara tanda-tanda kekuasaan-Nya ialah malam. Siang, Matahari dan Bulan. Janganlah bersujud kepada Matahari dan jangan (pula) kepada bulan, tapi bersujudlah kepada Allah yang menciptakannya, jika kamu hanya menyembah kepada-Nya.<sup>14</sup>

Mengenai ayat tersebut Imam Syafi'i mengatakan bahwa Allah memerintahkan untuk tidak bersujud kepada keduanya (Matahari dan Bulan), tetapi hanya bersujud kepada-Nya. Perintah-Nya ini mengandung perintah untuk bersujud kepada-Nya ketika menyebut

<sup>12</sup> Syaikh Shaleh bin Fauzan al-Fauzan, *Mulakhkhas Fiqhi Jilid 1*, terjemah oleh : Abu Umar Basyier, Jakarta : Pustaka Ibnu Katsir, cet ke-1, th. 2011, hal. 448

<sup>13</sup> Syaikh Shaleh bin Fauzan al-Fauzan, *Mulakhkhas Fiqhi*,... hal. 450

<sup>14</sup> Departemen Agama Republik Indonesia, *Alquran Dan Terjemahnya*,... hal. 778

(atau mengingat) Matahari dan Bulan, yakni Dia memerintahkan untuk melakukan salat ketika terjadi gerhana Matahari dan Bulan. Perintah-Nya ini juga mengandung larangan untuk bersujud kepada keduanya sebagaimana halnya larangan untuk menyembah kepada selain-Nya. Sunah Rasul menunjukkan adanya perintah untuk menunaikan salat ketika terjadi gerhana Matahari dan Bulan. Ungkapan ini seolah mengandung dua pengertian :

Pertama, hendaklah mengerjakan salat ketika terjadi gerhana Matahari dan Bulan.<sup>15</sup>

Kedua, tidak diperintahkan salat pada setiap ayat selain ayat (keduanya) ini sebagaimana perintah salat ketika terjadi gerhana Matahari dan Bulan, karena Allah tidak menyinggung masalah salat dalam ayat-ayat itu. Salat dalam segala keadaan, merupakan ketaatan kepada Allah dan kegembiraan bagi yang menjalankannya. Imam Syafi'i berkata "Salat gerhana Matahari dan Bulan dilakukan berjamaah dan tidak ada ayat lain yang menjelaskan atau mengisyaratkan salat gerhana."<sup>16</sup>

## 2) QS. Yasin : 38 – 40

---

<sup>15</sup> Syaikh Ahmad Musthafa al Farran, *Tafsir Imam Syafi'i*, terjemah oleh : Imam Ghazali Masykur, Jakarta : Penerbit Almahira, cet. Ke-1, th. 2008, hal. 353

<sup>16</sup> Syaikh Ahmad Musthafa al Farran, *Tafsir Imam Syafi'i*,...hal.354

وَالشَّمْسُ تَجْرِي لِمُسْتَقَرٍّ لَهَا ۚ ذَٰلِكَ تَقْدِيرُ الْعَزِيزِ الْعَلِيمِ ﴿٢٨﴾ وَالْقَمَرَ قَدَرْتَهُ  
 مَنَازِلَ حَتَّىٰ عَادَ كَالْعُرْجُونِ الْقَدِيمِ ﴿٢٩﴾ لَا الشَّمْسُ يَنْبَغِي لَهَا أَنْ تُدْرِكَ الْقَمَرَ وَلَا  
 اللَّيْلُ سَابِقُ النَّهَارِ ۚ وَكُلٌّ فِي فَلَكٍ يَسْبَحُونَ ﴿٣٠﴾

Artinya: “Dan Matahari beredar pada garis edarnya. Itulah pengaturan (Tuhan) yang maha perkasa lagi Maha Mengetahui. Dan Bulankami menakdirkannya di manzilah-manzilah hingga kembali menjadi bagaikan tandan yang tua. Matahari tidak akan dapat mendahului bulan. Dan juga malam tidak dapat mendahului siang, dan masing-masing pada garis edarnya terus-menerus beredar.<sup>17</sup>”

Ayat di atas menjelaskan bahwa Matahari dan Bumi senantiasa terus- menerus beredar pada garis edarnya secara amat teratur dan hal ini pula yang mengakibatkan Bumi senantiasa mengalami siang dan malam (rotasi). Itulah pengaturan Tuhan yang maha perkasa lagi maha mengetahui.<sup>18</sup>

Kata (تجري) *tajrî* pada mulanya digunakan menunjuk perjalanan cepat sesuatu yang memiliki kaki (berlari). Selanjutnya kata ini digunakan juga untuk menggambarkan perpindahan satu benda dari satu tempat ke tempat lain, perpindahan yang dinilai cepat dibandingkan dengan perpindahan benda lain yang serupa. Ia juga digunakan untuk menunjuk perjalanan sangat jauh yang ditempuh dalam waktu yang relatif singkat.<sup>19</sup>

<sup>17</sup> Departemen Agama Republik Indonesia, *Alquran Dan Terjemahnya*,...hal. 710

<sup>18</sup> M. Quraish Shihab, *TAFSIR AL-MISBAH, Pesan, Kesan dan Keserasian al Qur'an*, Jakarta: Lentera Hati, cet. Ke-4, th. 2002, hal. 151

<sup>19</sup> M. Quraish Shihab, *TAFSIR AL-MISBAH*,...hal. 152

Huruf *lam* pada kalimat (لمستقر) *limustaqarrin* ada yang memahaminya dalam arti (الي) *ilá*, yakni menuju atau batas akhir. Sedang kata (مستقر) *mustaqarr* terambil dari kata (قرار) *qarár*, yakni kemantapan/ pemberhentian. Patron kata yang digunakan ayat ini adalah tempat atau waktu, kata ini mengandung beberapa makna. Ia dapat berarti Matahari bergerak (beredar) ke tempat pemberhentiannya atau sampai waktu pemberhentiannya. Bergerak menuju tempat perhentian yang dimaksud adalah peredarannya setiap hari di garis edarnya dalam keadaan sedikitpun tidak menyimpang hingga dia terbenam, atau arti bergerak terus menerus sampai waktu yang ditetapkan Allah untuk perhentian geraknya, yakni pada saat dunia akan kiamat.

Kata (يسبحون) pada mulanya berarti *mereka berenang*. Ruang angkasa diibaratkan oleh al-Quran dengan samudra yang besar. Benda-benda langit diibaratkan dengan ikan-ikan yang berenang di lautan lepas itu. Allah melukiskan benda-benda itu dengan kata yang digunakan bagi yang berakal (*mereka berenang*). Ini agaknya untuk mengisyaratkan ketundukan benda-benda langit itu ketentuan dan takdir yang ditetapkan Allah atasnya.<sup>20</sup>

Ayat-ayat suci di atas mengisyaratkan suatu fakta ilmiah yang baru ditemukan oleh para astronom di awal abad ke-17 M. Matahari, Bumi, Bulan, dan seluruh planet serta benda-benda langit lainnya

---

<sup>20</sup> M. Quraish Shihab, *TAFSIR AL-MISBAH*,...hal. 154

bergerak di ruang angkasa dengan kecepatan dan arah tertentu. Di sisi lain, Matahari dengan tata suryanya berada dalam suatu nebula besar yang disebut Bima Sakti. Kecepatan edarnya bisa mencapai sekitar 700 kilometer per detik dan peredaranya mengitari pusat membutuhkan waktu sekitar 200 juta tahun cahaya. Matahari tidak dapat mendahului Bulan karena keduanya beredar dalam suatu gerak linear yang tidak mungkin dapat bertemu. Sebagaimana malam pun tidak dapat mendahului siang, kecuali jika Bumi berputar pada porosnya dari timur ke barat. Tidak seperti seharusnya bergerak dari barat ke timur. Bulan saat mengelilingi Bumi dan Bumi saat mengelilingi Matahari harus melewati kumpulan bintang-bintang yang kemudian memunculkan posisi (*manzil*) Bulan. Maka kita saksikan pada seperempat pertama dan kedua, Bulan terlihat bagaikan tandan yang tua.<sup>21</sup>

#### b. Dalil al-Hadist

##### a. Hadist riwayat al-Bukhari dari Ibnu Umar

عن ابن عمر رضي الله عنه أنه كان يخبر عن النبي صلى الله عليه وسلم : إنّ الشمس والقمر لا يخسفان لموت أحدٍ ولا لحياته، ولكنهما آيتان من آيت الله، فإذا رايتموهما فصلوا<sup>22</sup>

Artinya : Dari Ibnu Umar r.a. bahwa dia mendapat kabar dari Nabi saw. “Sesungguhnya Matahari dan Bulan tidak akan bertemu (hingga terjadi gerhana) karena kematian seseorang, dan tidak juga karena kelahirannya, akan tetapi

<sup>21</sup> M. Quraish Shihab, *TAFSIR AL-MISBAH*,...hal. 155

<sup>22</sup> Imam Bukhari, *Sahih al-Bukhari Juz 1*, Beirut : Dar Su'ub, tt., hal. 184 dikutip oleh Muhammad Nashirudin Al Albani, *Ringkasan Shahih Bukhari*, Jakarta : Pustaka Azzam, cet. Ke-3, th. 2014, hal. 45

keduanya merupakan dua tanda dari tanda-tanda kekuasaan Allah. Ketika kamu melihat keduanya bertemu dan terjadi gerhana, maka salatlah.”

b. Hadist riwayat al-Bukhari dari Abu Bakrah

عن أبي بكرة قال : كنّا عند رسول الله صلى الله عليه وسلّم فانكسفت الشمس, فقام النبيّ صلى الله عليه وسلّم يجرّ رداءه (وفي رواية : ثوبه مستعجلاً, حتّى دخل المسجد, وثاب الناس اليه فدخلنا, فصلّى بنا ركعتين, حتّى انجلت الشمس, (ثم اقبل علينا), فقال النبيّ صلى الله عليه وسلّم : إنّ الشمس والقمر آيتان من آيت الله, وأنّهما لا ينكسفان لموت أحدٍ ولكنّ الله يخوف بهما عباده, فإذا رايتموهما فصلّوا, حتّى يكشف ما بكم. وذاك أنّ ابن للنبيّ صلى الله عليه وسلّم مات يقال له : ابراهيم, فقال الناس في ذلك.<sup>23</sup>

Artinya : Dari Abu Bakrah, dia berkata, “Suatu ketika kami sedang berada bersama Rasulullah, dan tiba-tiba terjadi gerhana Matahari. Rasulullah segera berdiri dan mengenakan serbannya (dalam riwayat lain mengenakan bajunya dengan terburu-buru. Lalu beliau pergi ke masjid dan orang-orang pun pergi menyusulnya, dan kami masuk ke dalam masjid dan mengikutinya. Kemudian beliau salat dua rakaat bersama kami sehingga Matahari terang kembali. Selanjutnya beliau menghadap ke arah kami, seraya bersabda, “Sesungguhnya Matahari dan Bulan adalah dua tanda dari tanda-tanda kekuasaan Allah, dan keduanya tidak akan bertemu (yang mengakibatkan terjadinya gerhana) dikarenakan kematian seseorang, akan tetapi Allah menakut-nakuti (memperingatkan) para hamba-Nya dengan keduanya. Jika kamu melihat keduanya terjadi gerhana, maka hendaklah kamu salat dan berdoa hingga sekelilingmu terang kembali.” (Hal ini terkait dengan kematian putera Rasulullah bernama Ibrahim, sehingga beliau merasa perlu menyampaikan hal tersebut)

<sup>23</sup> Imam Bukhari, *Sahih al-Bukhari Juz 1*, Beirut : Dar Su'ub, tt., hal. 184, dikutip oleh Muhammad Nashirudin Al Albani, *Ringkasan Shahih Bukhari*,... hal. 45

Hadist di atas menjelaskan bahwa fenomena gerhana bukanlah disebabkan karena adanya kelahiran atau kematian dari seseorang, akan tetapi merupakan salah satu dari tanda-tanda kebesaran Allah, dan dianjurkan/ disunahkan (*muakkad*) kepada umat islam untuk salat, berdoa dan memperbanyak sedekah pada saat fenomena gerhana sedang terjadi sebagai bentuk dari rasa syukur dan ketakwaan hamba-Nya.

#### **E. Fakta-Fakta tentang Gerhana**

Gerhana yang secara periodik terjadi dan bahkan dalam satu tahun dapat terjadi beberapa kali baik itu gerhana Matahari maupun Bulan ternyata dapat diidentifikasi dan dikelompokkan ke dalam sub-sub tema atau fenomena dalam kurun waktu tertentu misalnya :

Dalam satu kalender (1 Januari hingga 31 Desember), bisa terjadi hingga 5 kali gerhana Matahari, seperti yang terjadi pada tahun 1805, 1935, dan akan terjadi pada tahun 2206.<sup>24</sup> Namun demikian dalam rentang 365 hari, bisa terjadi 5 kali gerhana Matahari, seperti dalam rentang antara 30 Juli 1916 hingga 29 Juli 1917, yaitu :

- 30 Juli 1916 A
- 24 Desember 1916 P
- 23 Januari 1917 P

---

<sup>24</sup> Rinto Anugraha, *Mekanika Benda Langit*, Yogyakarta : FMIPA UGM, tahun 2012, hal. 128

- 19 Juni 1917 P
- 19 Juli 1917 P

Dalam satu kalender, bisa terjadi bisa hingga 3 kali gerhana Bulan total, seperti yang terjadi pada tahun 1982. Sementara itu dalam rentang 365 hari, juga bisa terjadi 3 kali gerhana Bulan total, seperti dalam rentang antara 21 Januari 2000 hingga 20 Januari 2001, yaitu :

- 21 Januari 2000
- 16 Juli 2000
- 9 Januari 2001

Sementara jumlah gerhana (Bulan dan Matahari) yang terjadi dalam setahun kalender, paling sedikit terdapat empat gerhana, yaitu dua gerhana Matahari dan dua gerhana Bulan. Untuk gerhana Bulan ini, satu atau kedua gerhana Bulan dapat berupa gerhana penumbra. Contohnya pada tahun 1995,

- 15 April P
- 29 April A
- 8 Oktober pen
- 24 Oktober T.

Jumlah gerhana maksimum dalam setahun adalah 7 buah, dan ini terjadi dalam 4 kemungkinan sebagai berikut :

5 gerhana Matahari + 2 gerhana Bulan, seperti pada tahun 1935, 2206.

4 gerhana Matahari + 3 gerhana Bulan, seperti pada tahun 1982, 2094.

3 gerhana Matahari + 4 gerhana Bulan, seperti pada tahun 1973, 2038.



2 gerhana Matahari + 5 gerhana Bulan, seperti pada tahun 1879, 2132.

Sebagai contoh, pada tahun 1982 terjadi 7 buah gerhana yaitu 4 gerhana Matahari dan 3 gerhana Bulan yang bentuknya sebagai berikut :

- 9 Januari gerhana Bulan total
- 25 Januari gerhana Matahari parsial
- 21 Juni gerhana Matahari parsial
- 6 Juli gerhana Bulan total
- 20 Juli gerhana Matahari parsial
- 15 Desember gerhana Matahari parsial
- 30 Desember gerhana Bulan total

Seperti telah ditulis di atas, dalam setahun kalender, maksimum terdapat 5 kali gerhana Matahari. dalam rentang 4000 tahun sejak -600 hingga tahun 3400, secara perhitunga hanya terdapat 14 tahun yang memiliki 5 kali gerhana Matahari dalam setahun yaitu, tahun -568, -503, -438, -373, 1255, 1805, 1935, 2206, 2709, 2774, 2839, 2904, 3295 dan 3360. Catat bahwa distribusi tahunnya tidak beraturan : ada tiga kasus dari tahun -568, hingga -438 (rentang 130 tahun) dan tiga kasus dari tahun 2709 hingga 2839 (rentang 130 tahun) tetapi tidak terjadi sejak tahun -373 hingga 1255 (rentang lebih dari 1600 tahun). Untuk keempat belas tahun di atas, empat dari lima gerhana dalam setahun adalah tipe parsial atau P, sisa tipe gerhana adalah tipe cincin atau A (seperti pada tahun 1935) atau tipe total seperti pada tahun 2774.

Jumlah gerhana Matahari paling sedikit dalam setahun adalah dua kali. Kedua-duanya dapat berupa gerhana Matahari parsial, sebagaimana pada tahun 1996 dan 2004.

Jumlah maksimum gerhana Bulan dalam setahun kalender adalah lima buah. Dalam rentang 900 tahun antara tahun 1600, ada lima gerhana Bulansetahun pada tahun-tahun berikut ini : 1676, 1694, 1749, 1879, 2132, 2262, dan 2400. Pada kasus-kasus di atas, kebanyakan empat dari lima gerhana Bulan bertipe penumbra.

Jumlah gerhana Bulan paling sedikit dalam setahun adalah dua buah. Keduanya dapat berupa gerhana penumbra, sebagaimana pada tahun 1966 dan 2016.

Seluruh gerhana Matahari dalam satu tahun dapat berupa tipe P, sebagai contoh pada tahun 1996 (dua gerhana), tahun 2018 (tiga gerhana) dan tahun 2000 (empat gerhana). Pada tahun-tahun tersebut tidak ada gerhana total atau cincin.

Dalam setahun maksimum terdapat dua kali gerhana Matahari total. Contohnya pada tahun 2057. Tidak mungkin terdapat tiga gerhana Matahari total dalam setahun, bahkan jika kita masukan gerhana dengan tipe A-T dan (T).

Sementara itu untuk gerhana Matahari cincin, bisa terdapat dua kali dalam setahun, sebagai contoh pada tahun 1951 dan 1973. Jumlah maksimum gerhana Matahari cincin yang “murni” dalam setahun adalah dua kali.

Gerhana cincin yang “murni”, yaitu jika tipe A-T (cincin-total) tidak dimasukkan.

Namun jika tipe A-T dimasukkan, jumlah maksimum gerhana Matahari cincin (yaitu tipe A dan A-T) dalam setahun ada tiga kali. Untuk kasus tiga kali ini, bisa terdapat satu cincin dan dua cincin-total, atau dua cincin dan satu cincin-total. Antara tahun 2000 hingga tahun 1700, terdapat 10 buah tahun yang berisi tiga gerhana cincin ini dalam setahun, yaitu tahun -1944, -484, -400, -139, 1144, 1228, 1339, 1405, 1489, dan tahun 1966.

Fakta menarik tentang gerhana Matahari lainnya adalah tipe gerhana cincin-total atau (A-T) adalah tipe gerhana sentral, dimana sebagian lintasan adalah total dan sisanya cincin. Lebih tepat, sepanjang garis sentral, gerhana tersebut bermula sebagai cincin, kemudian menjadi total ketika bagian permukaan Bumi yang lengkung lebih dekat ke Bulan sehingga mejadi total, dan akhirnya kembali menjadi cincin pada akhir lintasan. Namun demikian gerhana 3 November 2013 bertipe A-T akan menjadi kasus menarik. Disini, gerhana sentral akan bermula sebagai gerhana cincin, kemudian 15 detik berikutnya berubah menjadi total, dan terus total hingga akhir gerhana.

Dua gerhana Matahari yang terjadi berturut-turut tidak pernah keduanya berupa fase total, namun demikian dimungkinkan terdapat dua gerhana total dalam rentang kurang dari setengah tahun, tetapi salah satunya berupa gerhana bertipe A-T. Contohnya adalah<sup>25</sup> :

- 17 April 1912, tipe A-T

---

<sup>25</sup> Rinto Anugraha, *Mekanika Benda Langit...*, hal. 130

- 10 Oktober 1912, tipe T

Akan tetapi dua gerhana sentral yang berturut-turut dapat berupa total kedua-duanya, tetapi dipisahkan oleh gerhana parsial, sebagai contoh, gerhana total 11 Agustus 1999 dan 21 Juni 2001, dipisahkan oleh empat gerhana parsial pada tahun 2000.

Dua gerhana Matahari yang terjadi berturut-turut bisa berupa kedua-duanya bertipe A-T, sebagai contoh gerhana 23 Desember 1908 dan 17 Juni 1909, 3 Oktober 1986 dan 29 Maret 1987.

Antara tahun -599 hingga tahun 3400 atau rentang 4000 tahun atau 40 abad, terdapat 9439 gerhana Matahari, sehingga rata-rata sekitar 237 gerhana per abad. Selama 40 abad tersebut, tipe gerhana adalah sebagai berikut : 3344 gerhana parsial, 3071 gerhana cincin, 2058 gerhana total, 493 gerhana cincin-total, 58 gerhana cincin non-sentral, dan 19 gerhana total non-sentral. Namun demikian, distribusinya setiap abad tidak seragam. Sebagai contoh antara tahun 1701 – 1800 terdapat 251 gerhana, sedangkan antara tahun 2001 – 2100 hanya terdapat 224 gerhana.

Pada dua fase Bulan baru yang berturutan dapat terjadi gerhana Matahari. Hampir seluruh kasus, kedua gerhana tersebut bertipe parsial, yang nampa dari belahan Bumi yang berbeda, sebagai contoh;

21 Juni 1982, belahan Bumi selatan (selatan Atlantik, Afrika Selatan)

20 Juli 1982, belahan Bumi utara (Laut Arktik, negara-negara Skandinavia)

Sangat jarang terjadi, satu dari kedua gerhana berturutan pada dua fase Bulan baru yang berturutan adalah gerhana parsial. Dalam rentang tahun -599 hingga 3400, hanya terjadi 5 kali<sup>26</sup>.

#### F. Algoritma Jean Meeus untuk Gerhana Matahari

Dalam bukunya *Mekanika Benda langit*, Rinto Anugraha menjelaskan bahwa algoritma yang digunakan dalam menghitung gerhana Matahari dalam bukunya tersebut bersumber dari algoritma Jean Meeus<sup>27</sup> yang tertuang dalam berbagai buku karangannya salah satu buku yang membahas gerhana

---

<sup>26</sup> Rinto Anugraha, *Mekanika Benda Langit...*, hal. 132

<sup>27</sup> Jean Meeus merupakan ilmuwan astronomi berkebangsaan Belgia yang lahir pada tanggal 12 Desember 1928 dengan spesialisasi pada bidang mekanika benda langit. Jean Meeus menempuh studi Matematika di University of Leuven Belgia dan meraih gelar *Licentiate* pada tahun 1953. Setelah menamatkan studinya beliau bekerja sebagai seorang meteorologist di Bandara Brussel sampai akhirnya pensiun pada tahun 1993. Ketertarikannya ialah pada bidang bola langit dan matematika astronomi.

Banyak karya yang telah dihasilkan dari tangan beliau terkait bidang astronomi, diantaranya *Canon of Solar Eclipses* sebagai *co-author* (1966), *Astronomical Formulae for Calculators* (1979), *Astronomical Formulae for Calculators II* (1988), *Astronomical formulas for microcalculators* (1988), *co-author of Canon of Lunar Eclipses* (1979), *co-author of Canon of Solar Eclipses* (1983), *Elements of Solar Eclipse 1951-2200* (1989), *Transits* (1989), *Astronomical Algorithms* (1991), *Astronomical Algorithms 2nd Edition* (1998), *Astronomical Tables of the Sun, Moon, and Planets* (1983), *Mathematical Astronomy Morsels* (1997), *More Mathematical Astronomy Morsels* (2002), *Mathematical Astronomy Morsels III* (2004), *co-author of Five Millenium Canon of Solar Eclipses -1999 to +3000* (2006), *Mathematical Astronomy Morsels IV* (2007), dan *Mathematical Astronomy Morsels V* (2009).

Atas dedikasi dan kontribusi Jean Meeus pada bidang Astronomi pada tahun 1986 beliau memenangkan sebuah penghargaan bergengsi pada bidang Astronomi yaitu *Amateur Achievement Award* yang diselenggarakan oleh Komunitas Astronomi Pasifik (*Astronomical Society of the Pasific*). Sebagai penghargaan atas jasanya dalam bidang Astronomi pada tahun 1981 IAU (Interational Astronomical Union) memeberikan nama sebuah asteroid dengan nama beliau yaitu Asteroid 2213 Meeus. Lihat <http://www.wikipedia.org/JeanMeeus> diakses pada 27 Mei 2016 pukul 14:36 wib.

Matahari ialah buku *Astronomical Algorithms*. Adapun tahap-tahap mencari gerhana Matahari dalam buku *Astronomical Algorithms* karya Jean Meeus adalah sebagai berikut :

1. Menghitung  $K^{28}$

$$k = (\text{tahun} - 2000) \times 12,3685$$

rumus untuk mencari k adalah rumus pendekatan. “tahun” yang digunakan dalam rumus di atas adalah tanggal yang dinyatakan dalam tahun. Nilai integer k menyatakan *new moon*. Jika ingin menghitung :

- First Quarter maka  $k + 0,25$
- Full Moon  $k + 0,5$
- Last Quarter  $k + 0,75$

Keterangan diatas bila dirumuskan menjadi :

$$K = \text{INT}(((\text{TAHUN} + \text{BULAN}/12) - 2000) \times 12,3685)$$

2. Menghitung JDE (Julian Day Ephemeris)

JDE adalah waktu terjadinya *new moon* (yang ingin dicari) dinyatakan dalam *Julian Day* dalam waktu ephemeris (ET) atau waktu dinamik (DT).

$$T = K/1236,85$$

$$\begin{aligned} \text{JDE}^{29} = & 2451550,09765 + 29,530588853 \times k + 0,0001337 \times T^2 - \\ & 0,000000150 \times T^3 + 0,00000000073 \times T^4 \end{aligned}$$

3. Menghitung  $M^{30}$

---

<sup>28</sup> Jean Meeus, *Astronomical Algorithms*, Virginia: Willman Bell. Inc., th. 1991, hal. 320. Lihat juga Khotibul Umam, *Metode Hisab Gerhana Matahari KH. Ahmad Ghozali dalam Kitab Irsyad al-Murid*, Skripsi Fakultas Syari'ah UIN Walisongo Semarang, 2014, hal. 38

<sup>29</sup> Jean Meeus, *Astronomical Algorithms...hal. 319*

M adalah *sun's mean anomaly* pada waktu JDE

$$M = 2,5534 + 29,1053569 \times k - 0,00000011 \times T^3$$

Hasil M adalah satuan derajat, dan harus dirubah menjadi satuan radian maka caranya harus dirubah menjadi bilangan derajat antara  $0^\circ - 360^\circ$  kemudian baru dirubah ke radian :

$$= M \times \pi/180$$

Jika hasil M negatif, semisal -8234,262544 derajat, untuk merubah menjadi radian caranya adalah cari kelipatan 360 (positif) yang mendekati nilai M dan lebih besar, yaitu 8280.

$$8280 - 8234,262544 = 45,73745559 \text{ derajat}$$

$$= 45,73745559 \times \pi/180$$

$$= 0,798269192 \text{ radians}$$

#### 4. Menghitung M'

M' adalah *moon's mean anomaly*.

$$M' = 201,5643 + 385,81693528 \times k + 0,0107438 \times T^2 + 0,00001239 \times T^3 - 0,000000058 \times T^4$$

Jika hasil derajat M' negatif, maka caranya seperti di atas, begitu juga untuk perhitungan-perhitungan selanjutnya.

#### 5. Menghitung F

F adalah argumen latitude bulan.

---

<sup>30</sup> Jean Meeus, *Astronomical Algorithms...hal. 320*

$$F = 160,7108 + 390,67050274 \times k - 0,0016341 \times T^2 - 0,00000227 \times T^3 + 0,000000011 \times T^4$$

Selanjutnya mencari kemungkinan terjadinya gerhana. Jadi nilai F pasti terjadi gerhana jika nilai F antara  $0^\circ - 13^\circ 54'$ ,  $166^\circ 6' - 193^\circ 54'$ , atau  $346^\circ 6' - 360^\circ$ . Dan apabila nilai F antara  $14^\circ - 21^\circ$ ,  $159^\circ - 165^\circ$ ,  $194^\circ - 201^\circ$ , atau  $339^\circ - 345^\circ$  ini bisa terjadi gerhana bisa juga tidak terjadi gerhana.

#### 6. Menghitung $\Omega$ <sup>31</sup>

$\Omega$  adalah bujur astronomi Bulandari *ascending node* atau titik simpul naik orbit bulan.

$$\Omega = 124,7746 - 1,56375580 \times k + 0,0020691 \times T^2 + 0,00000215 \times T^3$$

#### 7. Menghitung E

E adalah eksentrisitas orbit Bumi mengitari Matahari yang dikoreksi dengan T.

$$E = 1 - 0,002516 \times T - 0,0000074 \times T^2$$

#### 8. Menghitung koreksi untuk mengetahui tengah gerhana<sup>32</sup>

1) Koreksi pertama dengan rumus :

$$= 0,4075 \times \sin M'$$

2) Koreksi kedua dengan rumus :

---

<sup>31</sup> Jean Meeus, *Astronomical Algorithms...*hal. 320

<sup>32</sup> Jean Meeus, *Astronomical Algorithms...*hal. 350



$$= 0,1721 \times E \times \sin M$$

3) Koreksi ketiga dengan rumus :

$$= 0,0161 \times \sin (2 \times M')$$

4) Koreksi keempat dengan rumus :

$$= 0,0097 \times \sin (2 \times F1)$$

5) Koreksi kelima dengan rumus :

$$= 0,0073 \times E \times \sin (M' - M)$$

6) Koreksi keenam dengan rumus :

$$= -0,0050 \times E \times \sin (M' + M)$$

7) Koreksi ketujuh dengan rumus :

$$= -0,0023 \times \sin (M' - (2 \times F1))$$

8) Koreksi kedelapan dengan rumus :

$$= 0,0021 \times E \times \sin 2M$$

9) Koreksi kesembilan dengan rumus :

$$= 0,0012 \times \sin (M' + (2 \times F1))$$

10) Koreksi kesepuluh dengan rumus :

$$= 0,0006 \times E \times \sin (2 \times M' + M)$$

11) Koreksi kesebelas dengan rumus :

$$= -0,0004 \times \sin (3 \times M')$$

12) Koreksi kedua belas dengan rumus :

$$= -0,0003 \times E \times \sin (M + (2 \times F1))$$

13) Koreksi ketiga belas dengan rumus :

$$= 0,0003 \times \sin A1$$

14) Koreksi keempat belas dengan rumus :

$$= -0,0002 \times E \times \sin (M - (2 \times F1))$$

15) Koreksi kelima belas dengan rumus :

$$-0,0002 \times E \times \sin (2 \times M' - M)$$

16) Koreksi keenam belas dengan rumus :

$$= -0,0002 \times \sin \Omega$$

17) Menjumlahkan nilai koreksi :

$$= \text{koreksi 1 s/d koreksi 16}$$

Dalam bukunya Jean Meeus mengatakan bahwa koreksi tengah gerhana tersebut jika digunakan untuk menghitung gerhana antara tahun 1951 – 2050 mempunyai kesalahan rata-rata 0,36 menit (21,6 detik). Sedangkan kesalahan maksimal mencapai 1,1 menit.

Selanjutnya untuk mengetahui waktu permulaan gerhana dan akhir gerhana, dibutuhkan beberapa elemen yang perlu dihitung. Elemen-elemen tersebut adalah P, Q, W, Y, dan U yang dihitung dengan langkah-langkah sebagai berikut :

1. Menghitung nilai P pertama dengan rumus :

a. Koreksi nilai P pertama dengan rumus :

$$= 0,2070 \times E \times \sin M$$

b. Koreksi nilai P kedua dengan rumus :

$$= 0,0024 \times E \times \sin 2M$$

c. Koreksi nilai P ketiga dengan rumus :

$$= -0,0392 \times \sin M'$$

- d. Koreksi nilai P keempat dengan rumus :

$$= 0,0116 \times \sin 2M'$$

- e. Koreksi nilai P kelima dengan rumus :

$$= -0,0073 \times E \times \sin (M' + M)$$

- f. Koreksi nilai P keenam dengan rumus :

$$= 0,0067 \times E \times \sin (M' - M)$$

- g. Koreksi nilai P ketujuh dengan rumus :

$$= 0,0118 \times \sin (2 \times F1)$$

- h. Mencari nilai P dengan rumus :

$$= P1 \text{ s/d } P7$$

2. Menghitung nilai Q dengan koreksi-koreksi sebagai berikut :<sup>33</sup>

- a. Koreksi Q pertama dengan rumus :

$$= -0,0048 \times E \times \cos M$$

- b. Koreksi Q kedua dengan rumus :

$$= 0,0020 \times E \times \cos 2M$$

- c. Koreksi Q ketiga dengan rumus :

$$= -0,3299 \times \cos M'$$

- d. Koreksi Q keempat dengan rumus :

$$= -0,0060 \times E \times \cos (M' + M)$$

- e. Koreksi Q kelima dengan rumus :

---

<sup>33</sup> Jean Meeus, *Astronomical Algorithms...hal. 351*

$$= 0,0041 \times E \times \cos (M' - M)$$

f. Mencari nilai Q dengan rumus :

$$= 5,2207 + Q1 \text{ s/d } Q5$$

3. Mencari nilai W dengan rumus :

$$= \text{Abs} (\cos F1)^{34}$$

4. Mencari nilai Y dengan rumus :

$$= (P \times \cos x F1 + Q \times \sin F1) \times (1 - 0,0048 \times W)^{35}$$

5. Menghitung nilai U dengan koreksi-koreksi sebagai berikut :

a. Koreksi U pertama dengan rumus :

$$= 0,0046 \times E \times \cos M$$

b. Koreksi U kedua dengan rumus :

$$= -0,0182 \times \cos M'$$

c. Koreksi U ketiga dengan rumus :

$$= 0,0004 \times \cos 2M'$$

d. Koreksi U keempat dengan rumus :

$$= 0,0005 \times \cos (M + M')$$

e. Mencari nilai U dengan rumus :

$$= 0,0059 + U1 \text{ s/d } U4$$

6. Mencari nilai magnitude gerhana dengan rumus :

$$= 1.5433 + U - \text{Abs } Y/0.5461^{36}$$

---

<sup>34</sup> Jean Meeus, *Astronomical Algorithms...*hal. 351

<sup>35</sup> Jean Meeus, *Astronomical Algorithms, Ibid, hal. 351*

### 7. Mencari *semi duration of partial phase*

*semi duration of partial phase* adalah setengah durasi dari terjadinya gerhana Matahari mulai awal gerhana sampai akhir gerhana. Sebelum menghitung *semi duration of partial phase* ini diperlukan elemen-elemen seperti P dan N. Elemen-elemen tersebut dihitung dengan menggunakan rumus :

$$P = 1,0128 - U$$

$$N = 0,5458 + 0,04 \times \cos M'$$

Kemudian untuk menghitung *semi duration of partial phase* maka menggunakan rumus :

$$\frac{60}{N} \times \sqrt{p^2 + y^2}$$

### 8. Menghitung awal gerhana dan akhir gerhana

Awal gerhana = tengah gerhana - *semi duration of partial phase*

Akhir gerhana = tengah gerhana + *semi duration of partial phase*

### 9. Mencari *semi duration of total phase*

*semi duration of total phase* adalah setengah durasi dari terjadinya gerhana Matahari mulai awal total gerhana sampai akhir total gerhana. Sebelum menghitung *semi duration of total phase* ini diperlukan elemen T. Elemen T dihitung dengan rumus<sup>37</sup> :

$$T = 0,4678 - U$$

---

<sup>36</sup> Jean Meeus, *Astronomical Algorithms...*hal. 352

<sup>37</sup> Jean Meeus, *Astronomical Algorithms...*hal. 352

Kemudian menghitung *semi duration of total phase* dengan rumus :

$$\frac{60}{N} \times \sqrt{T^2 - y^2}$$

10. Menghitung awal total gerhana dan akhir total gerhana

Awal total gerhana = tengah gerhana – *semi duration of total phase*

Akhir total gerhana = tengah gerhana + *semi duration of total phase*

11. Menghitung JDE *Terrestrial Dynamical Time* (TDT) terkoreksi

JDE (TDT) = JDE + koreksi tengah gerhana

12. Menghitung delta T<sup>38</sup>

Delta T = ((102,3 + 123,5 x T + 32,5 x T<sup>2</sup>)/3600)

13. Menghitung JDE *Universal Time* (UT)

JDE (UT) = JDE (TDT) – delta T

14. Mengkonversi JDE (UT) menjadi waktu lokal

Metode mengonversi JD menjadi Gregorian ini memberikan hasil yang valid walaupun untuk menghitung tahun “negatif” (sebelum masehi), yaitu dengan cara menambahkan JD dengan 0,5. Maka Z adalah hasil *integer* nilai tersebut dan fadalah hasil *fraction* atau desimalnya.

JDE UT + 0,5

Jika hasil Z < 2299161, maka A = Z, namun jika Z lebih ataupun sama dengan 2299161, maka menghitung :

---

<sup>38</sup> Jean Meeus, *Astronomical Algorithms...hal. 73*

$$\alpha = \text{INT}((Z - 1867216,25))/36524,25$$

$$A = Z + 1 + \alpha - \text{INT}(\alpha/4)$$

Kemudian menghitung :

$$B = A + 1524$$

$$C = \text{INT}((B - 122,1)/365,25)$$

$$D = \text{INT}(365,25 \times C)$$

$$E = \text{INT}((B - D)/30,6001)^{39}$$

Tanggal terjadinya tengah gerhana bisa diketahui dengan menghitung rumus di bawah ini :

$$\text{Tanggal} = B - D - \text{INT}(30,6001 \times E)$$

Jam terjadinya tengah gerhana bisa diketahui dengan merubah nilai f yang merupakan desimal dari *Julian Day* menjadi satuan jam dengan cara sebagai berikut :

$$\text{Jam} = F \times 24$$

Bulan(m) terjadinya tengah gerhana bisa diketahui dengan :

$$\text{Jika } E < 14, \text{ maka } m = E - 1$$

$$\text{Jika } E = 14 \text{ atau } 15, \text{ maka } m = E - 13$$

Tahun terjadinya tengah gerhana bisa diketahui dengan menghitung :

$$\text{Jika } m > 2, \text{ maka } y = C - 4716$$

$$\text{Jika } m = 1 \text{ atau } 2, \text{ maka } y = C - 4715.$$

---

<sup>39</sup> Jean Meeus, *Astronomical Algorithms...hal. 63*





### **BAB III**

#### **Metode Hisab Gerhana Matahari Menurut Rinto Anugraha Dalam Buku Mekanika Benda Langit**

##### **A. Biografi Intelektual Rinto Anugraha NQZ**

Dr. Eng Rinto Anugraha Nur Qomaruz Zaman (NQZ) lahir di Jakarta pada 27 September 1974. Beliau merupakan anak pertama dari tiga bersaudara. Ayahnya merupakan seorang guru STM (sekarang SMK) dan Ibu bekerja sebagai guru SD. Sejak kecil beliau senang menekuni bidang eksak seperti matematika dan fisika. Pendidikan SD dilaluinya di SDN Klender 15, SMPN 6 dan SMAN 59, semuanya di Jakarta Timur. Setelah itu beliau melanjutkan pendidikan tingginya di Universitas Gajah Mada Yogyakarta dengan mengambil jurusan Fisika pada tahun 1992 sampai 1997. Tugas akhir sarjananya di lalui dengan sangat baik dengan objek tentang *General Relativity and Cosmology* di bawah bimbingan (Alm) Prof. Dr. Muslim dan Dr. Arif Hermanto. Semasa kuliah beliau aktif di Jamaah Shalahudin Masjid Mardliyah UGM serta aktif di SKI (Seksi Kerohanian Islam) fakultas MIPA UGM.<sup>1</sup>

Beliau melanjutkan studi magister di almamater yang sama, dengan mengambil jurusan Fisika dengan beasiswa penuh dari pemerintah (saat itu dinamakan beasiswa URGE). Pendidikan magister ditempuh selama empat tahun dari tahun 1997 sampai tahun 2001. Tugas akhir tentang

---

<sup>1</sup> Wawancara dengan Rinto Anugraha pada hari Jumat 19 Februari 2016 di kantor fakultas MIPA UGM pukul 10:12 wib

*Renormalization and Dimensional Regulation in Quantum Field Theory*, di bawah bimbingan (Alm) Prof. Muslim dan Dr. Pramudita Anggraita.

Semenjak lulus S1 atas saran dari dosen pembimbing, beliau disarankan untuk mendaftar sebagai dosen. Mereka melihat kemampuan beliau dan hasil tugas akhir yang memuaskan. Atas rekomendasi tersebut beliau tidak membuang kesempatan emas itu dan selang satu semester kemudian beliau telah resmi menjadi dosen di Universitas Gajah Mada.

Dua bulan pasca kelulusan S1 beliau menikah dengan Iftahul Jannah yang juga alumnus UGM dan sang istri merupakan sepupu dari ahli Falak KH. Noor Ahmad SS. Dari pernikahannya, beliau dikaruniai empat putra bernama :

1. Ahmad Naufal Bahy (kelas 12 SMA IT Yogya)
2. Farah Nurul Aini (kelas 9 SMP IT Yogya)
3. Inas Faiha (kelas 6 SD IT Yogya)
4. Muhammad Fata Hadaina (kelas 3 SD IT Yogya)

Setelah merampungkan studi magister beliau mendapat kesempatan untuk meneruskan ke jenjang doktoral dengan beasiswa penuh dari pemerintah Jepang “*Monbukagakusho*” dalam bidang *Nonlinier Physics* di *Applied Physics Laboratory, Kyushu University*. Jepang. Di bawah bimbingan supervisor Prof. Dr. Shoichi KAI dan Dr. Yoshiki Hidaka dengan topik riset tentang *Turbulence in Liquid Crystals (soft-mode turbulence)*. Kemudian menjadi *researcher postdoctoral* di tempat yang sama pada tahun 2008 - 2010 dengan sponsor dari JSPS. Ada sekitar 9

paper di jurnal Internasional Fisika yang ternama yang telah ditulis beliau, baik sebagai penulis pertama atau bukan sebagai penulis pertama seperti jurnal *Physics Review Letters*, *Physical Review E*, *Journal of Physical Society of Japan*, *Physica D* dan lain-lain.<sup>2</sup>

Semasa menempuh pendidikan doktor kegiatan sehari-hari beliau dipenuhi dengan tugas riset dan di waktu luangnya beliau menjadi loper koran yakni di pagi hari dan di akhir pekan untuk mencari tambahan penghasilan. Di akhir pekan juga beliau mengisinya untuk liburan bersama keluarga dan teman-teman di Jepang.

Beliau menjabat sebagai Dosen Fisika Fakultas MIPA Universitas Gajah Mada Yogyakarta sejak tahun 1998. Beliau mengajar beberapa matakuliah di S1 dan S2 Fisika UGM dan jurusan lainnya seperti Fisika Dasar, Matematika Fisika, Elektrodinamika, Mekanika Klasik, Teori Relativitas, Fisika Kuantum, Mekanika Benda Langit, Kapita Selekt Fisika Material dan sebagainya. Pada tahun 2011-2013 beliau menjabat sebagai kepala Laboratorium Fisika Material dan Instrumentasi Jurusan Fisika FMIPA UGM.

Beliau menekuni ilmu hisab secara otodidak ketika sedang menempuh studi di Jepang. Buku referensi pertama yang beliau baca dan sangat berpengaruh bagi pegetahuan ilmu hisabnya adalah buku *Astronomical Algorithm* karya Jean Meeus. Beliau mengaplikasikan algoritma Jean Meeus dengan membuat aplikasi *Just Basic*, kemudian

---

<sup>2</sup> Rinto Anugraha, *Mekanika Benda Langit*, Yogyakarta : FMIPA UGM, th. 2012 hal. 200

microsoft excel dengan membuat rumus awal salat dan arah kiblat. Beliau mengaplikasikan arah kiblat dengan *google map* dan *qibla locator*. Ketertarikannya dengan Jean Meeus adalah karena Jean Meeus suka mengkaitkan satu bab dengan bab lainnya (linier dan saling berkesinambungan satu sama lain). Selain itu Jean Meeus piawai menjelaskan fenomena astronomi dalam bahasa populer dan diceritakan secara menarik. Misal tentang *harvest moon*.<sup>3</sup>

Karya –karya beliau tidak hanya terkait dengan bidang falak tetapi juga astronomi secara umum, bahasa dan Fisika diantaranya adalah :

1. Mekanika Benda Langit
2. Pengantar Teori Relativitas Dan Kosmologi
3. Trik TOEFL
4. Trik Tes TPA
5. Olimpiade Fisika
6. Pengantar Mekanika Klasik
7. Ilmu Hisab Modern (masih proses)
8. Ilmu Hisab Populer (masih proses)

Dalam keilmuan Falak beliau aktif sebagai pembina JAC (Jogja Atro Club) semenjak tahun 2012 sampai sekarang, selain itu beliau sering menjadi pembicara dalam seminar-seminar ilmu falak baik oleh ormas maupun oleh perguruan tinggi. Beliau aktif menjadi pembina ahli hisab

---

<sup>3</sup> Wawancara dengan Rinto Anugraha di kantor Jurusan Fisika FMIPA UGM pada tanggal 19 Februari 2016 pukul 14:20

Muhammadiyah terkhusus dalam menghitung posisi Bulan Matahari menjelang awal bulan. Beliau juga aktif sebagai pembina olimpiade fisika Internasional SMP dan SMA.

Bidang kompetensi beliau adalah fisika (relativitas umum dan kosmologi, fisika matematik, elektromagnetika, liquid crystal, simulasi spin magnetik, chaos), Ilmu hisab (teori dan komputasi), menguasai software ImageJ (untuk image profesional), bahasa Basic, HTML, dan pemrograman java.

## **B. Sekilas Buku Mekanika Benda Langit**

Buku Mekanika Benda Langit merupakan buku pertama Rinto Anugraha yang berkaitan dengan falak. Buku ini merupakan buku teks atau pegangan beliau dalam mengajar mata kuliah dengan topik yang sama yaitu mata kuliah Mekanika Benda Langit bagi mahasiswa program S1 maupun S2 Fisika dibawah Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam (FMIPA) Universitas Gajah Mada Yogyakarta.

Buku ini merupakan kumpulan tulisan beliau tentang ilmu hisab atau ilmu falak dengan beberapa tambahan. Dalam buku ini dijelaskan tentang waktu dan kalender khususnya kalender Gregorian (masehi) dan kalender Islam, serta konversi antara keduanya. Kemudian disajikan pula pembahasan tentang bumi, koordnat bola, serta transformasi koordinat antara ekliptika geosentrik, ekuator geosentrik, dan horizontal. Dibahas

pula jarak antara dua tempat di permukaan Bumi serta arah kiblat yang merupakan sudut azimut dari satu tempat ke tempat kedua yang terletak di Ka'bah, Saudi Arabia. Selanjutnya perhitungan posisi Matahari dan Bulan diberikan secara gamblang dengan beberapa model algoritma.

Buku Mekanika Benda Langit terdiri dari 206 halaman beserta lampiran, adapun isi dari buku tersebut adalah :

## **Pendahuluan**

### **Bagian I Waktu dan Kalender**

- Kalender Julian, Kalender Gregorian dan *Julian Day*
- Kalender Islam Aritmatika
- Macam-macam waktu
  - *Universal Time* dan *Dynamical Time*
  - Macam-macam hari (*day*)
  - *Greenwich Sidereal Time*
  - *Local Sidereal Time* (LST)
  - Macam-macam Bulan (*month*)
  - Macam-macam tahun (*year*)

### **Bagian II Bumi dan Koordinat Bola**

- Bumi
  - Jarak dari permukaan Bumi ke pusat Bumi
  - Jarak dari tempat di permukaan Bumi
- Segitiga Bola dan Arah Kiblat
  - Geometri bola

- Rumus segitiga bola dan arah kiblat
- Hari meluruskan arah kiblat
- Sistem koordinat
  - Sistem koordinat 2 dan 3 dimensi
  - Sistem koordinat ekliptika heliosentrik
  - Sistem koordinat ekliptika geosentrik
  - Sistem koordinat ekuator geosentrik
  - Sistem koordinat horisontal
- Transformasi sistem koordinat
  - Transformasi koordinat dari Ekliptika Geosentrik ( $\lambda$ ,  $\beta$ ) ke Ekuator Geosentrik ( $\alpha$ ,  $\delta$ ).
  - Transformasi koordinat dari Ekuator Geosentrik ( $\alpha$ ,  $\delta$ ) ke Ekliptika Geosentrik ( $\lambda$ ,  $\beta$ ).
  - Transformasi koordinat dari Ekuator Geosentrik ( $\alpha$ ,  $\delta$ ) ke Horison ( $h$ ,  $A$ ).
  - Transformasi koordinat dari Horison ( $h$ ,  $A$ ) ke Ekuator Geosentrik ( $\alpha$ ,  $\delta$ ).

### **Bagian III Posisi Matahari**

- Rumus menentukan posisi Matahari
- Posisi Matahari Algoritma Meeus
  - Koreksi bujur ekliptika
  - Koreksi lintang ekliptika

- Koreksi jarak Bumi-Matahari
- *Equation of Time*
  - Rumus *equation of time*
  - *Equation of Time* dan waktu salat
- Waktu Salat
  - Cara menghitung waktu salat
  - Rumus waktu salat

#### **Bagian IV Posisi Bulan**

- Algoritma Brown
  - Bujur ekliptika Bulan
  - Lintang ekliptika Bulan
  - Jarak Bumi-Bulan
- Algoritma Meeus
  - Koreksi bujur ekliptika
  - Koreksi lintang ekliptika
  - Koreksi jarak Bumi-Bulan
  - Posisi Bulan menurut algoritma Meeus

#### **Bagian V Fase-fase Bulan**

- Fase-fase Bulan menggunakan algoritma Meeus
- Fase Bulan menggunakan tabel Meeus

#### **Bagian VI Gerhana**

- Fakta-fakta tentang gerhana



- Gerhana Bulan
- Data-data gerhana Bulan total 10 Desember 2011 menurut algoritma Meeus, NASA dan Bao Lin Liu-Alan D. Fiala
- Gerhana Matahari 22 Juli 2009

## **Bagian VII Kapita Selekt**

- Kalender 2012
  - Hari-hari besar dan awal Bulan Islam 1433 H dan 1434 H.
  - Hari-hari besar non-Islam
  - Ekuinoks dan Solstice
  - Gerhana dan transit
  - Hari meluruskan arah kiblat
- Mengenal software Accurate Times<sup>4</sup>

Dalam bukunya Rinto Anugraha menyinggung gerhana dalam satu bab tersendiri. Perhitungan gerhana yang dipakai beliau berdasarkan pada algoritma Jean Meeus yang telah menggunakan elemen besel dalam perhitungan gerhananya serta menggunakan patokan algoritma VSOP87 dan ELP2000<sup>5</sup> untuk menentukan posisi Matahari dan bulan.

---

<sup>4</sup> Rinto Anugraha, *Mekanika Benda Langit*, Yogyakarta : FMIPA UGM, th. 2012 hal. v-vi

<sup>5</sup> VSOP87 dan ELP2000 adalah algoritma untuk penentuan posisi matahari dan bulan. Yang dicetuskan oleh Chapront dan G. Francou dari pusat astronomi Bureau Des Longitudes Paris, Prancis. Lihat Jean Meeus, *Elements of Solar Eclipses*, Virginia : Willmann Bell Inc., th 1989, hal. 3

Perhitungan gerhana Matahari yang dipaparkan dalam buku ini adalah gerhana Matahari global (geosentris) yang tidak menggunakan markaz daerah, berbeda dengan gerhana Matahari lokal (toposentrik) yaitu gerhana Matahari yang dihitung dengan menggunakan data-data koordinat suatu tempat di permukaan Bumi.<sup>6</sup>

### **C. Metode Perhitungan Gerhana Matahari Rinto Anugraha dalam Buku Mekanika Benda Langit**

Dalam buku Mekanika Benda Langit perhitungan gerhana yang dibahas adalah perhitungan dalam menentukan daerah mana saja yang merasakan gerhana total, nilai koordinat (bujur, lintang geografis) yang bisa menyaksikan gerhana total tersebut, waktu terjadi gerhana di tempat itu, lebar daerah di tempat tersebut yang merasakan gerhana total, serta ketinggian altitude dan azimuth Matahari saat itu dan lain-lain. Untuk menentukan nilai-nilai di atas, ada satu kata kunci yaitu angka-angka atau elemen-elemen Bessel (*Besselian Elements*).<sup>7</sup>

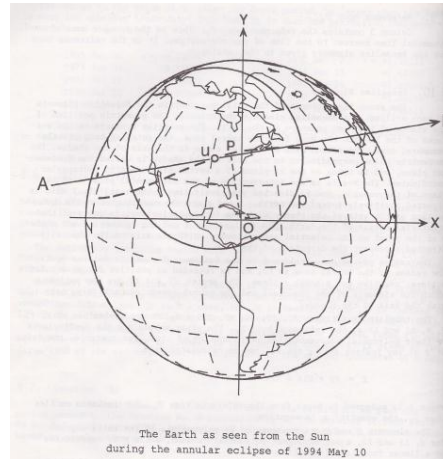
Untuk dapat menghitung gerhana secara akurat, Bessel telah menyusun metode dengan menggunakan bidang yang disebut bidang fundamental. Lihat Gambar 3.1 dan 3.2. Bidang fundamental adalah bidang datar dua dimensi XY dengan pusat di O yang berada di pusat

---

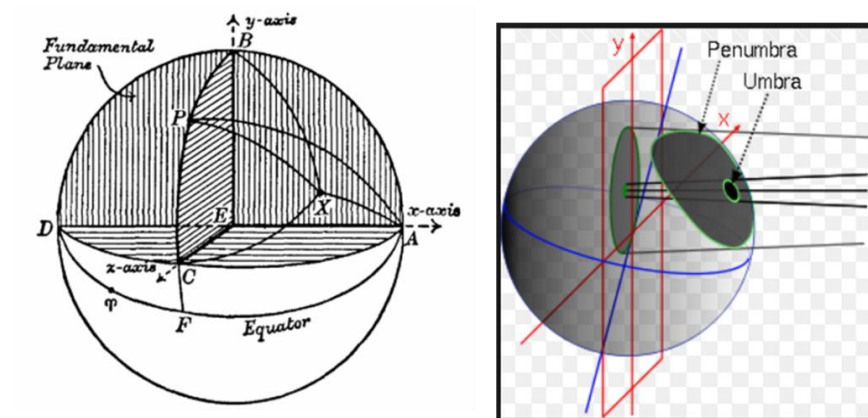
<sup>6</sup> Khotibul Umam, *Analisis Metode Hisab Gerhana Matahari dalam Kitab Irsyadul Murid*, Skripsi jurusan Ilmu Falak Fakultas Syari'ah, UIN WALISONGO Semarang, th. 2014, hal. 35

<sup>7</sup> Elemen Bessel merupakan elemen yang berfungsi menentukan posisi geografis Bumi yang terkena gerhana melalui bidang fundamental. Dicituskan oleh seorang ilmuwan astronomi berkebangsaan Prusia. Lihat [www.wikipedia.org/elemen\\_bessel](http://www.wikipedia.org/elemen_bessel), diakses pada Selasa 7 Juni 2016 pukul 23:32

bumi. Sumbu Z adalah sumbu yang menghubungkan pusat Matahari, pusat Bulan saat terjadi konjungsi.



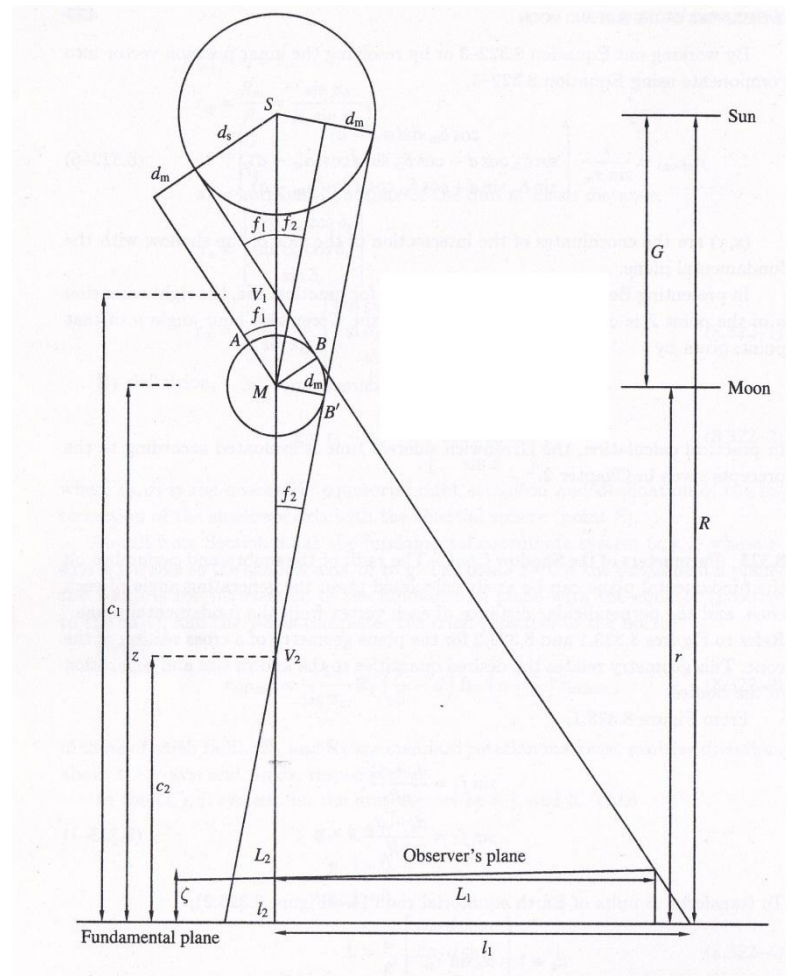
Gambar 3.1. Ilustrasi Bidang fundamental XY untuk gerhana cincin 10 Mei 1994<sup>8</sup>



Gambar 3.2. Ilustrasi Bidang Fundamental XY dengan disertai sumbu Z

<sup>8</sup> Jean Meeus, *ELEMENTS Of SOLAR ECLIPSE 1951 – 2200*, Virginia : Willmann-Bell, Inc. Th. 1989, hal. 8

Gambar 3.3 menyajikan hubungan antara Matahari, bulan, bidang pengamat dan bidang fundamental. Matahari berpusat di  $S$  dan Bulan berpusat di  $M$ . Sudut  $f_1$  dan  $f_2$  adalah sudut penumbra dan umbra.



Gambar 3.3 Matahari, Bulan, Bidang pengamat di Bumiserta bidang fundamental.

Sejumlah besaran yang harus ditentukan dengan menggunakan elemen Bessel ini adalah  $T_0$ ,  $X$ ,  $Y$ ,  $d$ ,  $M$ ,  $L_1$ ,  $L_2$ , serta sudut  $f_1$  dan  $f_2$ .

Langkah-langkah untuk menghitung gerhana Matahari dalam buku Mekanika beda Langit adalah sebagai berikut :

- 1) Menyiapkan elemen Bessel untuk gerhana yang akan dicari. Angka-angka Bessel tersebut berasal dari perpaduan algoritma VSOP87 (Matahari) dan ELP2000-82 (bulan). Angka-angka tersebut dapat dilihat di buku *Elements of Solar Eclipses 1951 – 2200* karya Jean Meeus. Angka-angka Bessel untuk setiap gerhana Matahari berbeda-beda. Angka Bessel ini digunakan untuk menentukan tempat (bujur, lintang) di Bumi yang terkena garis umbra, lebar garis umbra, lama maksimum gerhana tersebut, ketinggian (altitude) Matahari dan azimuth yang diamati dari tempat tersebut dan lain-lain.

Misalnya untuk angka-angka Bessel pada gerhana Matahari 9 Maret 2016 adalah :

Waktu referensi :  $T_0 = \text{jam 2 TD}^9$

$$X_0 = -0.062417, X_1 = 0.5502769, X_2 = 0.0000047, X_3 = -0.00000906$$

$$Y_0 = -0.25369, Y_1 = 0.1721233, Y_2 = 0.0000171, Y_3 = -0.00000275$$

$$d_0 = -4.37971, d_1 = 0.015886, d_2 = 0.000001$$

$$M_0 = 207.37216, M_1 = 15.003971$$

$$L_{10} = 0.538861, L_{11} = -0.0000704, L_{12} = -0.0000128$$

$$L_{20} = -0.007227, L_{21} = -0.00007, L_{22} = -0.0000127$$

---

<sup>9</sup> Jean Meeus, *Elements ...*, hal. 61

$$\tan(f_1) = 0.0047087, \tan(f_2) = 0.0046852$$

Kemudian untuk gerhana ini digunakan nilai  $\Delta T = 68$  detik.

- 2) Menghitung *Dynamical Time* dengan rumus :

$$TD = UT + \Delta T$$

- 3) Menghitung waktu  $t$  dibandingkan dengan waktu referensi  $T_0$  dengan rumus :

$$t = TD - T_0 = UT + \Delta T - T_0$$

- 4) Menghitung  $X$  pada bidang fundamental dengan rumus :

$$X = X_0 + X_1 t + X_2 t^2 + X_3 t^3$$

- 5) Menghitung  $Y$  pada bidang fundamental dengan rumus :

$$Y = Y_0 + Y_1 t + Y_2 t^2 + Y_3 t^3$$

- 6) Menghitung deklinasi Matahari ( $d$ ) dengan rumus :

$$d = d_0 + d_1 t + d_2 t^2$$

- 7) Menghitung Sudut jam ephemeris (*ephemeris hour angle*)  $M$  dengan rumus :

$$M = M_0 + M_1 t$$

- 8) Menghitung Jari-jari penumbra (*penumbral radius*)  $L_1$  pada bidang fundamental dengan rumus :

$$L_1 = L_{10} + L_{11} t + L_{12} t^2$$

- 9) Menghitung Jari-jari umbra (*umbral radius*)  $L_2$  pada bidang fundamental dengan rumus :

$$L_2 = L_{20} + L_{21} t + L_{22} t^2$$

- 10) Menghitung Kecepatan perubahan  $X$  pada bidang fundamental yaitu  $X'$  dengan rumus :

$$X' = \frac{dX}{dt} = X_1 + 2X_2 t + 3X_3 t^2$$

11) Menghitung Kecepatan perubahan  $Y$  pada bidang fundamental yaitu  $Y'$  dengan

rumus :

$$Y' = \frac{dY}{dt} = Y_1 + 2Y_2t + 3Y_3t^2$$

12) Menghitung Besaran  $\omega$  dengan rumus :

$$\omega = \frac{1}{\sqrt{1 - 0,006694385\cos^2(d)}}$$

13) Menghitung Kecepatan perubahan sudut jam ephemeris  $M$  yaitu  $p$  dengan

rumus :

$$p = \frac{dM}{dt} = M_1$$

14) Nilai  $p$  di atas masih dalam satuan derajat per jam, sama seperti satuan  $M_1$ .

Jika  $p$  dinyatakan satuan radian per jam maka :

$$p = \frac{\pi}{180} M_1 = \frac{M_1}{57,2957795}$$

15) Menghitung besaran  $b$  dengan rumus :

$$b = Y' - pX \sin(d)$$

16) Menghitung besaran  $c$  dengan rumus :

$$c = X' + pY \sin(d)$$

17) Menghitung besaran  $y_1$  dengan rumus :

$$y_1 = \omega Y$$

18) Menghitung besaran  $b_1$  dengan rumus :

$$b_1 = \omega \sin(d)$$

19) Menghitung besaran  $b_2$  dengan rumus :

$$b_2 = 0,99664719\omega \cos(d)$$

20) Menghitung besaran  $B$  dengan rumus :

$$B = \sqrt{1 - X^2 - y_1^2}$$

Jika  $B$  tidak ada maka tidak ada garis sentral pada waktu tersebut. Dari tiga persamaan di bawah ini;

$$\cos(\varphi_1) \sin(H) = X$$

$$\cos(\varphi_1) \cos(H) = Bb_2 - y_1b_1$$

$$\sin(\varphi_1) = Bb_1 + y_1b_2$$

Maka  $\varphi_1$  dirumuskan sebagai :

$$\varphi_1 = \sin^{-1}(Bb_1 + y_1b_2)$$

21) Menghitung sudut jam (hour angle) Matahari  $H$  dengan rumus :

$$H = \tan^{-1} \frac{X}{Bb_2 - y_1b_1}$$

22) Menghitung Lintang geografis  $\varphi$  yang terkena garis sentral dengan rumus :

$$\varphi = \tan^{-1}(1,00336409 \tan(\varphi_1))$$

23) Menghitung Bujur geografis  $\lambda$  yang terkena garis sentral dengan rumus :

$$\lambda = H + 0,00417807\Delta T - M \quad \text{dengan } \Delta T = TD - UT \text{ dalam satuan detik}$$

24) Untuk menghitung durasi total atau cincin pada bujur dan lintang tersebut, terdapat rumus-rumus sebagai berikut :

$$L'_2 = L_2 - B \tan(f_2)$$

$$a = c - pB \cos(d)$$

$$n = \sqrt{a^2 + b^2}$$



$$\text{Durasi} = \frac{7200L'_2}{n} \text{ detik}$$

Gerhana total pada lokasi tersebut terjadi jika  $L'_2 < 0$ , cincin jika  $L'_2 > 0$ .

25) Menghitung sudut ketinggian (altitude) Matahari  $h$  pada lokasi tersebut

dengan rumus :

$$h = \sin^{-1}(\sin(d) \sin(\varphi) + \cos(d) \cos(\varphi) \cos(H))$$

26) Menghitung sudut azimuth Matahari  $Az$  dari arah utara dengan rumus :

$$Az = 180 + \tan^{-1} \left[ \frac{\sin(H)}{\cos(H) \sin(\varphi) - \tan(d) \cos(\varphi)} \right]$$

27) Menghitung lebar lintasan fase total atau cincin pada lokasi tersebut

dengan rumus :

$$K = \sqrt{B^2 + \left( \frac{Xa + Yb}{n} \right)^2}, \quad \text{Lebar} = 12756 \frac{|L'_2|}{K} \text{ km}$$

28) Menghitung rasio sudut diameter nampak (*apparent diameter*) Bulan

dengan sudut diameter nampak Matahari dengan rumus :

$$A = \frac{L'_1 - L'_2}{L'_1 + L'_2}$$

$$\text{Dimana } L'_1 = L_1 - B \tan(f_1)^{10}$$

---

<sup>10</sup> Rinto Anugraha, *Mekanika Benda Langit*,...hal. 146

## **BAB IV**

### **ANALISIS METODE HISAB GERHANA MATAHARI MENURUT RINTO ANUGRAHA DALAM BUKU MEKANIKA BENDA LANGIT**

#### **A. Analisis Metode Hisab Gerhana Matahari Menurut Rinto Anugraha dalam Buku Mekanika Benda Langit**

Perkembangan ilmu hisab dari masa ke masa senantiasa mengalami perkembangan sejalan dengan perkembangan ilmu sains. Hal ini dipengaruhi oleh semakin mutakhirnya ilmu pengetahuan serta teknologi. Ilmu hisab juga akan terus mengalami perubahan data dikarenakan sifat alam semesta yang dinamis. Hal ini bisa dipahami bahwasanya semua benda langit termasuk Bumi terus bergerak dan berputar sesuai dengan poros dan orbitnya dalam sistem tata surya. Setiap pergerakan dari Bumi, Bulan maupun Matahari senantiasa menjadi bahan pengamatan manusia di Bumi sebagai dasar pijakan dalam mengetahui waktu, kalender, awal bulan dan fenomena-fenomena langit lainnya tak terkecuali fenomena terjadinya gerhana dimana posisi Bumi, Bulan dan Matahari berada dalam satu garis lurus.<sup>1</sup>

Dalam hisab awal bulan maupun gerhana, terdapat banyak aliran maupun versi dalam perhitungannya. Aliran hisab di Indonesia apabila ditinjau dari segi sistemnya dapatlah dibagi menjadi dua kelompok besar,

---

<sup>1</sup> Slamet Hambali, *Pengantar Ilmu Falak Menyimak Proses Pembentukan Alam Semesta*, Banyuwangi : Bismillah Publisher, cet. Ke-1, th. 2012, hal. 223

yakni hisab “*urfi*” dan hisab “*hakiki*”. Namun seiring dengan perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi muncullah aliran-aliran hisab baru yang berusaha untuk mendapatkan hasil perhitungan yang lebih akurat seperti *hisab hakiki takribi*, *hisab hakiki tahkiki* dan *hisab kontemporer*.<sup>2</sup>

Saat ini semakin banyak bermunculan program software astronomis Bulan dan Matahari untuk keperluan perhitungan arah kiblat, waktu salat, awal bulan maupun gerhana. Program-program itu misalnya “*Mawaqit*” yang diprogram oleh IMCI korwil Belanda tahun 1993, program “*Falakiyah Najmi*” oleh Nuril Fu’ad pada tahun 1995, program “*Astinfo*” oleh jurusan astronomi MIPA ITB Bandung tahun 1996, program “*Badi’atul Mitsal*” tahun 2000 dan program *Ahillah, Misal, Pengetan* dan *Tsaqib* tahun 2004 oleh Mukhyidin Khazin, program “*Mawaqit*” versi 2002 oleh Ing Hafidz pada tahun 2002.<sup>3</sup>

Buku Mekanika Benda Langit merupakan buku yang berkaitan dengan astronomi khususnya Ilmu Falak yang dikarang oleh Rinto Anugraha tahun 2012. Beliau adalah seorang ahli falak dan dosen pada jurusan fisika fakultas MIPA Universitas Gajah Mada. Dalam bukunya dijelaskan banyak mengenai subjek-subjek ilmu falak seperti arah kiblat, kalender, sistem koordinat, awal bulan, waktu salat, gerhana dsb. Semua algoritma yang digunakan untuk menghitung baik arah kiblat, waktu salat,

---

<sup>2</sup> Ichtijanto dkk, *Almanak Hisab Rukyah*, Jakarta : Proyek pembinaan badan peradilan agama islam, th. 1981, hal. 37-38.

<sup>3</sup> Mukhyidin Khazin, *Ilmu Falak (dalam teori dan praktek)* , Yogyakarta : Buana Pustaka, cet. Ke-3, th. 2004, hal. 37

awal bulan maupun gerhana dalam buku Mekanika Benda Langit telah menggunakan algoritma-algoritma modern dengan tingkat akurasi tinggi. Tidak lupa pula beliau selalu memberikan contoh pada setiap perhitungan yang ada di dalamnya, hal ini dimaksudkan untuk mempermudah para mahasiswa dalam mempelajari ilmu Falak pada khususnya maupun Mekanika Benda Langit itu sendiri.

Terkhusus dalam perhitungan gerhana beliau memadukan antara algoritma Jean Meeus, Bao Liu *and* Alan D. Fiala dan juga NASA. Sementara untuk algoritma gerhana Matahari sendiri beliau menggunakan pijakan algoritma Jean Meeus untuk menentukan gerhana *central line* (garis sentral).<sup>4</sup>

## 1. Teori yang digunakan

Teori dasar yang menjadi landasan dalam buku Mekanika Benda Langit adalah teori Heliosentris yang dikemukakan oleh ilmuwan astronomi berkebangsaan Polandia Nicolas Copernicus yang lahir pada tanggal 19 Februari 1473 M di Torun. Beliau mengemukakan pandangannya bahwasanya Matahari merupakan pusat dari sistem peredaran benda-benda langit, yang dikenal dengan Heliosentris yakni Matahari sebagai pusat peredaran Bumi dan benda-benda langit lain yang menjadi anggotanya.<sup>5</sup> Pendapatnya itu tertuang dalam karya besarnya yang berjudul "*Revolutionibus Orbium Celestium*."

---

<sup>4</sup> Rinto Anugraha, *Mekanika Benda Langit*, Yogyakarta : Jurusan Fisika MIPA UGM, th. 2012, hal. 141

<sup>5</sup> Slamet Hambali, *Pengantar...*, hal. 182

Pendapatnya tersebut sekaligus menentang pandangan Geosentris<sup>6</sup> dari Ptolomeus. Sejak Copernicus mengumumkan pandangan Heliosentrisnya, maka dalam dunia astronomi sampai abad 18 M terdapat dua aliran, yakni aliran Ptolomeous dengan Geosentrisnya dan Copernicus dengan Heliosentrisnya.<sup>7</sup>

Teori tersebut bisa kita lihat dalam elemen Bessel yang digunakan dalam perhitungan gerhana Matahari dalam buku Mekanika Benda Langit yang telah mereduksi dari data-data VSOP87 untuk perhitungan posisi Matahari.<sup>8</sup>

Adapun terkait perkembangan keilmuan hisab di Indonesia, dapat diklasifikasikan ke dalam lima komponen umum menurut tingkat akurasi, yaitu :

1) Hisab “*urfi*”

Hisab urfi hanya didasarkan pada kaidah-kaidah umum dari gerak atau perjalanan Bulan mengelilingi Bumi dalam satu Bulan sinodis, yakni satu masa dari *ijtimak*/konjungsi yang satu ke konjungsi lainnya. Hisab ini dinamakan hisab “*urfi*” karena perhitungannya didasarkan pada kaidah-kaidah yang bersifat tradisional yaitu hanya didasarkan pada garis-garis besarnya saja. Sistem perhitungan hisab “*urfi*” ini senantiasa

---

<sup>6</sup> Teori yang menyatakan bahwa pusat tata surya adalah bumi, lihat Slamet Hambali, *Pengantar Ilmu Falak Menyimak Proses Pembentukan Alam Semesta*, Banyuwangi : Bismillah Publisher, cet. Ke-1, th. 2012, hal. 179

<sup>7</sup> Mukhyidin Khazin, *Ilmu Falak...*, hal. 27

<sup>8</sup> Wawancara dengan Rinto Anugraha pada hari Rabu, 1 Juni 2016 di kantor Jurusan Fisika UGM pukul 14:33

menggunakan bilangan tetap yang tidak pernah berubah. Oleh karena itu terkadang hasil perhitungannya berbeda dengan hasil perhitungan hisab *hakiki*.<sup>9</sup>

## 2) Hisab *hakiki*

Hisab *hakiki* adalah siste hisab yang didasarkan pada peredaran Bulan dan Bumi yang sebenarnya. Sejarah hisab *hakiki* dapat dirunut dari sejarah hisab *hakiki takribi* karena dalam konteks Indonesia hisab *hakiki* dapat dikelompokkan menjadi tiga generasi, yakni hisab *hakiki takribi*, hisab *hakiki tahkiki* dan hisab *hakiki kontemporer*.<sup>10</sup>

## 3) Hisab *hakiki takribi*

Hisab *hakiki takribi* sesuai dengan namanya hasilnya baru mendekati kebenaran, dan sistemnya sangat sederhana. Hisab *hakiki takribi* ini dapat dihitung dan diselesaikan tanpa kalkulator dan komputer, karena sistem perhitungannya kebanyakan hanya menambah dan mengurangi belum menggunakan rumus-rumus segitiga bola. Hisab *hakiki takribi* adalah hisab yang datanya bersumber dari data yang telah disusun dan telah dikumpulkan oleh Ulugh Beyk As-Syamarkand (wafat 1420 M). Data ini merupakan hasil pengamatannya yang didasarkan pada teori Geosentris.

---

<sup>9</sup> Sukarni, *Analisis Metode Hisab Gerhana Bulan Dalam Kitab Irsyad Al-Murid*, skripsi Fakultas Syariah UIN WALISONGO, Semarang th. 2014 hal. 76

<sup>10</sup> Sukarni, *Analisis...*, hal. 77

Sistem hisab *hakiki taribi* ini dapat dijumpai dalam kitab *as-Sulam an-Naiyyirain* karya Manshur al-Battawi, *Fathu Rauf al-Mannan* karya Abdul Djalil Kudus, dan dalam kitab *al-Khulasah al-Wafiyah* karya Zubair Umar al-Jaelany. Dalam kitab *as-Sulam an-Naiyyirain* dan *Fathu Rauf al-Mannan*<sup>11</sup>, sistem *hakiki takribi* sudah final, sedangkan dalam kitab *al-Khulasah al-Wafiyah* sistem *hakiki takribi* belum final, baru proses awal yang harus dilalui untuk melakukan hisab *hakiki tahkiki*.

#### 4) Hisab *hakiki tahkiki*

Hisab *hakiki tahkiki* merupakan lanjutan dari hisab *hakiki takribi*. Dalam hisab *hakiki tahkiki* proses perhitungannya berdasarkan data astronomis yang diolah dengan *spherical trigonometry* (ilmu ukur segitiga bola) dengan koreksi-koreksi gerak Bulan maupun Matahari yang sangat teliti. Dalam menyelesaikan perhitungannya digunakan alat-alat perhitungan misalnya kalkulator ataupun komputer.

#### 5) Hisab *hakiki kontemporer*

Hisab *hakiki kontemporer* adalah lanjutan dari hisab *hakiki tahkiki* yang diprogram dalam komputer yang sudah disesuaikan dengan perkembangan ataupun temuan-temuan baru. Sistem hisab ini adalah sistem yang paling menonjol dan

---

<sup>11</sup> Siti Tatmainul Qulub, "Telaah Kritis Putusan Sidang Itsbat Penetapan Awal Bulan Qamariyah Di Indonesia dalam Perspektif Ushul Fikih" Dalam *Jurnal Al-Ahkam; Jurnal Pemikiran Hukum Islam*, Vol. 25 No. 1, Th. 2015, Hal. 115

banyak digunakan oleh ahli falak sekarang ini. Hisab kontemporer sendiri tertuang dalam beberapa model. Ada yang berbentuk data yang disajikan dalam bentuk tabel seperti *Astronomical Almanac* dan *Ephemeris*.<sup>12</sup> Sedangkan yang lain seperti dalam program komputer seperti *Mawaqit* karya Ing Hafidz dan *Accurate Time* karya Muhammad Odeh.<sup>13</sup>

Adapun buku *Mekanika Benda Langit* apabila dilihat dari klasifikasi di atas merupakan metode hisab yang tergolong ke dalam hisab hakiki kontemporer dan berpangkal pada aliran Heliosentris, karena data-data yang digunakan merupakan data-data mutakhir yang menggunakan algoritma Meeus, elemen Bessel, VSOP87 untuk posisi Matahari dan ELP2000 untuk posisi Bulan.

## 2. Sumber data yang digunakan

Sumber data yang digunakan dalam buku *Mekanika Benda Langit* khususnya untuk perhitungan gerhana Matahari garis sentral (*central line*) bersumber dari Jean Meeus dalam buku "*Elements of Solar Eclipses 1951- 2200*". Dalam buku tersebut terdapat tabel elemen Bessel untuk gerhana Matahari dari tahun 1951 sampai dengan 2200 disertai dengan tanggal dan tahun terjadinya gerhana, jenis gerhana,

---

<sup>12</sup> Siti Tatmainul Qulub, "Telaah Kritis Putusan Sidang Itsbat,...hal. 116

<sup>13</sup> Sukarni, *Analisis...*, hal. 79



nilai *gamma*, tahun JDE, nilai  $k$  (lunasi), seri saros gerhana, waktu referensi ( $T_0$ ) dan elemen Bessel itu sendiri.<sup>14</sup>

- 1) Waktu terjadinya gerhana dalam buku tersebut dimaksudkan sebagai tanggal dan tahun terjadinya gerhana, misalnya untuk gerhana Matahari tahun 2016 terjadi pada tanggal 9 maret 2016 dan 1 september 2016.
- 2) Jenis gerhana sama dengan macam-macam gerhana Matahari yakni, gerhana total (sentral) disimbolkan dengan “t”<sup>15</sup>, cincin<sup>16</sup> “r”, parsial<sup>17</sup> “p”, *hybrid* “rt”<sup>18</sup>, non-sentral total<sup>19</sup> “(t)”, dan non-sentral cincin “(r)”<sup>20</sup>.
- 3) Nilai *gamma* merupakan jarak minimum dari sumbu bayangan kerucut umbra Bulan ke pusat Bumi, dilihat dari radius ekuator Bumi. Jarak ini bisa “positif” atau “negatif” tergantung sumbu bayangan kerucut umbra melewati utara atau selatan dari pusat Bumi. Menurut Jean Meeus jika nilai *gamma* antara +0.997 dan

---

<sup>14</sup> Jean Meeus, *Elements of Solar Eclipses 1950 -2200*, Virginia : Willmann-Bell Inc., th. 1989, hal. 61

<sup>15</sup> Gerhana total yaitu gerhana sentral yang mana kerucut umbra mengenai bumi. Lihat Rinto Anugraha, *Mekanika...*, hal. 127

<sup>16</sup> Gerhana cincin yaitu perpanjangan gerhana sentral dimana kerucut umbra mengenai bumi.

<sup>17</sup> Gerhana parsial yaitu gerhana sebagian dimana hanya sebagian kerucut umbra bulan mengenai bumi.

<sup>18</sup> Gerhana cincin-total (*hybrid*) yaitu gerhana sentral dimana sebagian gerhana berupa gerhana total dan sebagian lainnya berupa gerhana cincin.

<sup>19</sup> Gerhana non-sentral total dimana hanya sebagian dari kerucut umbra yang mengenai permukaan bumi (yaitu di daerah kutub), tetapi sumbu kerucut umbra tidak mengenai permukaan bumi, sehingga gerhana ini bukan gerhana sentral.

<sup>20</sup> Gerhana non-sentral cincin dimana hanya sebagian dari perpanjangan kerucut umbra yang mengenai (yaitu daerah kutub), tetapi sumbu kerucut tidak mengenai permukaan bumi. Tipe-tipe gerhana tersebut bisa di lihat di Rinto Anugraha, *Mekanika...*, hal. 127

-0.997 berarti terjadi gerhana sentral atau total. (batas nilai 0.997 berbeda dari kesepakatan (penyatuan nilai) disebabkan alasan perataan Bumi)<sup>21</sup>

4) JDE (*Julian Day Ephemeris*) didefinisikan sebagai banyaknya hari yang telah dilalui sejak hari senin tanggal 1 Januari tahun 4713 SM (sebelum masehi) pada pertengahan hari atau pukul 12:00:00 UT (*Universal Time*) atau GMT. Perlu diingat, tahun 4713 SM tersebut sama dengan tahun  $-4713$ .

- JD 0 = 1 Januari  $-4713$  pukul 12:00:00 UT = 1,5 Januari  $-4713$  (karena pukul 12 menunjukan 0,5 hari)
- JD 0,5 = 2 Januari  $-4713$  pukul 00:00:00 UT
- JD 1 = 2,5 Januari  $-4713$  dan seterusnya
- 4 Oktober 1582 M = JD 2299159,5
- 15 Oktober 1582 M = JD 2299160,5

Jika JD berkaitan dengan waktu yang dihitung menurut *Dynamical Time* (TD, bukan DT) atau *Ephemeris Time*, biasanya digunakan istilah *Ephemeris Day* (JDE, bukan JED). Sebagai contoh :

- 17 Agustus 1945 UT = JD 2431684,5
- 27 September 1974 TD = JDE 2442317,5

---

<sup>21</sup> Jean Meeus, *Elements...*, hal 5

Pemahaman terhadap Julian Day sangat penting, karena Julian Day menjadi syarat untuk menghitung posisi Bulan, Matahari dan planet-planet yang selanjutnya dipakai untuk menentukan Bulan baru, waktu salat, dan lain-lain. *Julian Day* juga menjadi dasar untuk menentukan fenomena alam seperti menentukan kemiringan orbit rotasi Bumi, kapan terjadinya *ekuinoks* dan *solstice*, dan sebagainya.<sup>22</sup> Sementara untuk gerhana Matahari JDE berhubungan dengan waktu dari gerhana maksimum (ketika sumbu kerucut bayangan umbra Bulan berada paling dekat dengan pusat Bumi).<sup>23</sup>

- 5) K dalam hal ini adalah *lunation* atau lunasi dimana 1 lunasi sama dengan rata-rata 1 Bulan sinodik = 29 hari 12 jam 44 menit 3 detik. Lunasi 0 sama dengan Bulan baru (*new moon*) tanggal 6 Januari 2000.<sup>24</sup>
- 6) Seri saros gerhana yaitu satu periode dari 223 lunasi atau 6585,3 hari atau 18 tahun 11 hari. Setelah satu periode tersebut gerhana baik Matahari dan Bulan akan terulang dengan kondisi yang sama.<sup>25</sup>
- 7) Waktu referensi (To)

---

<sup>22</sup> Rinto Anugraha, *Mekanika...*, hal. 8

<sup>23</sup> Jean Meeus, *Elements...*, hal. 6

<sup>24</sup> Jean Meeus, *Elements...*, hal. 6

<sup>25</sup> Jean Meeus, *Elements...*, hal. 6

Waktu referensi merupakan waktu *Dynamical Time* (TD) terdekat dari gerhana maksimum yang sudah diinteger-kan.

#### 8) Elemen Bessel

Data selanjutnya yang dipakai adalah data dari elemen Bessel<sup>26</sup>, dimana untuk setiap gerhana Matahari maka elemen Bessel-nya akan berubah. Elemen Bessel sendiri telah dihitung dengan menggunakan basis data dari teori VSOP87 untuk menghitung koordinat Matahari. Teori ini dibuat oleh astronom Prancis bernama P. Bretagnon dan G. Francou di pusat penelitian astronomi Bureau des Longitudes, Paris pada tahun 1987. Teori ini memberikan lintang dan bujur ekliptik dari planet-planet beserta radius vektornya.

Sementara untuk posisi Bulan elemen Bessel dibangun berdasar pada teori ELP2000/82 yang dibuat oleh M. Chapront-Touze dan J. Chapront yang juga berasal dari laboratorium astronomi Bureau des Longitudes Paris. Teori ini mengandung

---

<sup>26</sup> Elemen Bessel dicetuskan oleh seorang ilmuwan astronomi dan matematika berkebangsaan Prusia (Jerman) bernama Friedrich Wilhelm Bessel yang lahir pada 22 Juli 1784. Di bidang astronomi Bessel merupakan orang pertama yang menggunakan parallax dalam mengkalkulasi jarak terhadap bintang. Karya astronominya dituangkan dalam buku *Fundamenta Astronomiae* (1818) dan *Tabulae Regiomontanae* (1830). Pada tahun 1824 Bessel mengembangkan sebuah metode baru untuk menghitung keadaan gerhana, metode itulah yang disebut sebagai elemen Bessel. Beliau menyederhanakan perhitungan gerhana tanpa meninggalkan sisi keakurasiannya. Metode tersebut masih dipakai sampai sekarang. Atas jasanya terhadap astronomi beliau mendapat penghargaan “*Gold Medal of the Royal Astronomical Society*” pada tahun 1829 dan tahun 1841. Alumnus Georg-August University ini mendedikasikan keilmuannya sebagai pengajar di Universitas Berlin Jerman. Bessel meninggal di Kaliningrad, Rusia pada 17 Maret 1846 saat usia beliau 61 tahun. Lihat [www.Wikipedia.org/Friedrich Wilhelm Bessel](http://www.Wikipedia.org/Friedrich_Wilhelm_Bessel). Diakses pada Senin, 5 Juni 2016 pukul 22:31 wib.

37862 suku-suku periodik yang terdiri dari 20560 suku periodik untuk koreksi bujur Bulan, sebanyak 7684 suku periodik untuk koreksi lintang Bulan dan 9618 suku periodik untuk koreksi jarak antara Bulan ke Bumi.<sup>27</sup> Penggunaan elemen Bessel dalam perhitungan gerhana Matahari adalah untuk menggolongkan (karakteristik) posisi geometris dari bayangan relatif Bulan yang jatuh ke Bumi.<sup>28</sup>

Melihat sumber data yang digunakan dalam buku Mekanika Benda Langit, Rinto Anugraha telah menggunakan data-data astronomis yang mutakhir untuk perhitungan gerhana Matahari sentral. Kesemua itu bersumber dari pemikiran Jean Meeus namun untuk menentukan delta  $T$  beliau berpijak pada rumus polynomial yang dikeluarkan oleh NASA.<sup>29</sup>

### 3. Analisis gerhana garis sentral (*central line*)

Menurut Rinto Anugraha perhitungan gerhana yang ada di buku Mekanika Benda Langit merupakan gerhana garis sentral, dimana hasil akhir perhitungan hanya bertujuan untuk menentukan daerah manakah yang terkena gerhana total, berapakah koordinat (bujur, lintang geografis) yang bisa menyaksikan gerhana total tersebut berpakah lebar daerah di tempat tersebut yang merasakan gerhana total, nilai

---

<sup>27</sup> Jean Meeus, *Elements...*, hal. 3

<sup>28</sup> Penjelasan lebih lanjut mengenai bidang fundamental dapat dilihat pada BAB III skripsi ini.

<sup>29</sup> Wawancara dengan Rinto Anugraha pada hari Rabu, 1 Juni 2016 pukul 14:40, di kantor Jurusan Fisika UGM

ketinggian (altitude) dan azimuth Matahari saat itu. Artinya gerhana garis sentral hanya memperhitungkan keadaan gerhana di suatu tempat yang terkena gerhana sentral dalam hal ini bisa berupa gerhana total, cincin, maupun *hybrid* saja, adapun untuk gerhana parsial tidak tercakup dalam perhitungan di buku ini. Selain model yang diterapkan dalam buku ini adalah gerhana sentral. Perhitungan gerhana dalam buku Mekanika Benda Langit juga merupakan perhitungan gerhana global (geosentris) dimana perhitungannya tidak menggunakan *markaz* daerah.<sup>30</sup>

#### 4. Analisis delta T

Dalam perhitungan gerhana, delta T berfungsi untuk mengubah waktu *Dynamical Time* (TD) ke waktu di Bumi atau *Universal Time* (UT). *Dynamical Time* merupakan skala waktu standar yang digunakan untuk memperhitungkan posisi posisi Matahari dan Bulan yang dibutuhkan ketika menghitung prediksi gerhana.

Perubahan nilai delta T setiap tahun tidaklah seragam akan tetapi niainya selalu berubah-ubah. Hal ini disebabkan oleh pergerakan rotasi Bumi yang fluktuatif sehingga untuk menentukan delta T diperlukan observasi mendalam. Secara umum delta T dirumuskan dengan :

---

<sup>30</sup> Wawancara dengan Rinto Anugraha pada hari Rabu, 1 Juni 2016 pukul 14:48, di kantor Jurusan Fisika UGM

$$\Delta T = TD - UT$$

Jean Meeus dalam "*Elements of Solar Eclipses*" membuat perkiraan delta T dimana untuk tahun 1966 sampai dengan 1980 peningkatan nilai delta T sebesar satu detik, kemudian dari tahun 1984 sampai dengan 1988 peningkatannya sebesar setengah detik. Sementara untuk tahun-tahun berikutnya perkiraan delta T sebesar +65 detik untuk tahun 2000-an, empat menit untuk tahun 2100-an, dan delapan menit di sekitar tahun 2200.<sup>31</sup>

Rinto Anugraha dalam buku Mekanika Benda Langit dalam memperhitungkan delta T adalah berdasarkan dari rumus polynomial yang di pakai oleh NASA. Adapun rumus polynomial delta T NASA adalah sebagai berikut<sup>32</sup> :

- 1) Untuk delta T antara tahun 1900 – 1920 maka;

$$\Delta T = -2.79 + 1.494119 \times t - 0.598939 \times t^2 + 0.0061966 \times t^3 - 0.000197 \times t^4 \quad (\text{dimana } t = \text{year (y)} - 1900)$$

- 2) Untuk delta T antara tahun 1920 – 1941 maka hitung;

$$\Delta T = 21.20 + 0.84493 \times t - 0.076100 \times t^2 + 0.0020936 \times t^3$$

Dimana  $t = y - 1920$

- 3) Untuk delta T antara tahun 1941 – 1961 maka hitung;

$$\Delta T = 29.07 + 0.407 \times t - t^2/233 + t^3 / 2547$$

Dimana  $t = y - 1950$

---

<sup>31</sup> Jean Meeus, *Elements...*, hal. 9

<sup>32</sup> [www.eclipse.gsfc.nasa.gov](http://www.eclipse.gsfc.nasa.gov) diakses pada hari Selasa, 6 Juni 2016 pukul 02:03 wib.

- 4) Untuk delta T antara tahun 1961 – 1986 maka hitung;

$$\Delta T = 45.45 + 1.067xt - t^2/260 - t^3 / 718$$

$$\text{Dimana } t = y - 1975$$

- 5) Untuk delta T antara tahun 1986 – 2005 maka hitung;

$$\Delta T = 63.86 + 0.3345 \times t - 0.060374 \times t^2 + 0.0017275 \times t^3 + 0.000651814 \times t^4 + 0.00002373599 \times t^5$$

$$\text{Dimana } t = y - 2000$$

- 6) Untuk delta T antara tahun 2005 – 2050 maka hitung;

$$\Delta T = 62.92 + 0.32217 \times t + 0.005589 \times t^2$$

$$\text{Dimana } t = y - 2000$$

- 7) Untuk delta T antara tahun 2050 – 2150 maka hitung;

$$\Delta T = -20 + 32 \times ((y - 1820)/100)^2 - 0.5628 \times (2150 - y)$$

$$\text{Dimana } t = y - 2000$$

- 8) Setelah tahun 2150 maka hitung;

$$\Delta T = -20 + 32 \times u^2$$

$$\text{Dimana } u = (year - 1820)/100$$

## **B. Analisis Akurasi Metode Hisab Gerhana Matahari Menurut Rinto Anugraha dalam Buku Mekanika Benda Langit**

Untuk mengetahui nilai akurasi perhitungan gerhana sentral buku Mekanika Benda Langit karya Rinto Anugraha penulis mengujinya dengan data-data hasil perhitungan NASA karena untuk saat ini lembaga yang



menjadi rujukan dunia dalam penelitian-penelitian mengenai luar angkasa dan benda-benda langit adalah NASA (*National Aeronautics and Space Administrator*) yang merupakan lembaga antariksa milik Amerika Serikat. Khusus bidang gerhana, okultasi, dan transit planet NASA menyediakan *website* tersendiri yaitu [eclipse.nasa.gov](http://eclipse.nasa.gov). di *website* tersebut pengguna dapat mengeksplorasi gerhana lebih mendalam karena data-data yang disajikan cukup lengkap.

Berikut adalah hasil perhitungan gerhana sentral (*central line*) dalam buku Mekanika Benda Langit :

| Kondisi gerhana maksimum 21 Agustus 2017 (total) =18:25:31,8 UT |                          |                   |               |          |
|---|--------------------------|-------------------|---------------|----------|
| No  | Keterangan               | Rinto Anugraha    | NASA          | Selisih  |
| 1   | Lintang geografis lokasi | 36°57'18'' U      | 36°58'0'' U   | 0°0'42'' |
| 2   | Bujur geografis lokasi   | 87°40'28'' B      | 87°40'03'' B  | 0°0'25'' |
| 3   | Altitude Matahari        | 63,90781 derajat  | 63,9 derajat  | 0,007    |
| 4   | Azimuth Matahari         | 197,93463 derajat | 197,9 derajat | 0,034    |
| 5   | Lebar Lintasan           | 115,8 km          | 114,7 km      | 1,1 km   |
| 6   | Durasi total di lokasi   | 00:02:41,9        | 00:02:40,1    | 00:00:02 |
| 7   | Magnitude Gerhana        | 1,03092           | 1,0306        | 0,0003   |

Tabel 4.1 hasil perhitungan gerhana sentral 21 Agustus 2017

Tabel di atas menggambarkan bahwa untuk waktu gerhana total maksimum yang terjadi pada pukul 18:25:31,8 UT, menghasilkan nilai

lintang, bujur, altitude dan azimuth Matahari di lokasi yang terkena umbra Bulan. Dan hasilnya hampir sama dengan hasil perhitunga NASA. Selisih lintang dan bujur sebesar 42 dan 25 detik saja, sedangkan untuk lebar lintasan hanya terpaut 1,1 km, dan durasi total nilainya hampir persis hanya terpaut 0,2 detik. Kemudian selisih magnitude hanya sebesar 0,0003.

| Kondisi gerhana maksimum 2 Juli 2019 (total) =19:22:53 UT |                          |                 |               |            |
|---|--------------------------|-----------------|---------------|------------|
| No  | Keterangan               | Rinto Anugraha  | NASA          | Selisih    |
| 1   | Lintang geografis lokasi | 17°24'8'' S     | 17°22'7'' S   | 0°2'01''   |
| 2   | Bujur geografis lokasi   | 108°57'33'' B   | 108°58'08'' B | 0°0'35''   |
| 3   | Altitude Matahari        | 49,579 derajat  | 49,6 derajat  | 0,021      |
| 4   | Azimuth Matahari         | 358,948 derajat | 359,0 derajat | 0,052      |
| 5   | Lebar Lintasan           | 200,7km         | 200,6 km      | 0,1 km     |
| 6   | Durasi total di lokasi   | 00:04:32,2      | 00:04:32,8    | 00:00:00,8 |
| 7   | Magnitude Gerhana        | 1,04588         | 1,0459        | 0,0005     |

Tabel 4.2 hasil perhitungan gerhana sentral 2 Juli 2019

Tabel di atas menunjukkan bahwa gerhana total maksimum pada tanggal 2 Juli 2019 terjadi pada pukul 19:22:53 UT. Lokasi yang terkena gerhana total maksimum berada pada lintang 17°24'8'' S dan bujur 108°57'33'' B jika dibanding NASA selisih lintangnya sebesar 0°2'01''

dan bujur sebesar  $0^{\circ}0'35''$ . Sementara lebar lintasannya sebesar 200,7 km dan hanya berselisih 0,1 km dari NASA. Lama durasi total di lokasi sebesar 00:04:32,2 hampir persis sama dengan NASA ; 00:04:32,8.

| Kondisi gerhana maksimum 20 April 2023 ( <i>hybrid</i> ) =04:16:37,5 UT |                          |                        |                        |                    |
|---|--------------------------|------------------------|------------------------|--------------------|
| No  | Keterangan               | Rinto Anugraha         | NASA                   | Selisih            |
| 1   | Lintang geografis lokasi | $09^{\circ}35'48''$ S  | $09^{\circ}35'04''$ S  | $0^{\circ}0'44''$  |
| 2   | Bujur geografis lokasi   | $125^{\circ}49'56''$ E | $125^{\circ}48'04''$ E | $0^{\circ}01'52''$ |
| 3   | Altitude Matahari        | 66,654 derajat         | 66,7 derajat           | 0,046              |
| 4   | Azimuth Matahari         | 333,936 derajat        | 334,0 derajat          | 0,064              |
| 5   | Lebar Lintasan           | 48,9 km                | 49 km                  | 0,1 km             |
| 6   | Durasi total di lokasi   | 00:01:15,9             | 00:01:16,1             | 00:00:00,2         |
| 7   | Magnitude Gerhana        | 1,01316                | 1,0132                 | 0,0004             |

Tabel 4.3 hasil perhitungan gerhana sentral 20 April 2023

Gerhana yang akan terjadi pada tanggal 20 April 2023 merupakan gerhana tipe *hybrid* dan akan kembali terjadi di Indonesia dengan daerah sekitar lintang  $09^{\circ}35'48''$  S dan bujur  $125^{\circ}49'56''$  E. Berdasarkan hasil perhitungan gerhana garis sentral Mekanika Benda Langit baik hasil lintang, bujur, altitude dan azimuth Matahari bila dibandingkan dengan NASA maka selisihnya sedikit saja. Kemudian untuk lebar lintasan gerhana maksimum di lokasi bahkan hanya terpaut 0,1 km dengan NASA.

Durasi total dan magnitude gerhana juga hampir sama dan hanya berselisih sepersekian detik saja. Hal ini menunjukkan perhitungan yang terdapat dalam buku Mekanika Benda Langit tergolong perhitungan kontemporer dengan tingkat akurasi tinggi.

Hanya saja yang menjadi catatan dalam buku Mekanika Benda Langit perhitungan gerhananya hanya sebatas gerhana sentral artinya hanya memperhitungkan kondisi pada gerhana yang bertipe total maupun cincin saja sementara untuk gerhana sebagian (*partial eclipse*) tidak tercakup dalam buku tersebut. Selain itu perhitungan konjungsi gerhana juga tidak tercantum di dalamnya. Karena memang gerhana sentral (*central line*) hanya untuk mengetahui keadaan gerhana total pada waktu-waktu yang ingin dicari oleh pengamat.

## BAB V

### PENUTUP

#### A. Kesimpulan

Berdasarkan pembahasan dan hasil analisis di atas maka dapat penulis simpulkan :

1. Algoritma perhitungan gerhana Matahari dalam buku Mekanika Benda Langit karya Rinto Anugraha dimulai dengan mencari elemen Bessel untuk gerhana yang akan diamati, kemudian menentukan waktu-waktu yang akan diamati pada saat gerhana sentral (total / cincin), selanjutnya menghitung lintang dan bujur geografis lokasi, altitude dan azimuth matahari lokasi, lebar lintasan dan durasi gerhana total di lokasi. Perhitungan gerhana garis sentral bertujuan untuk mengetahui keadaan gerhana yang dilalui garis umbra dari waktu ke waktu.

Data kunci yang digunakan untuk mengetahui kondisi sentral tersebut adalah data dari elemen Bessel. Elemen-elemen Bessel dipakai untuk menentukan posisi geografis di Bumi yang terkena gerhana melalui sebuah bidang yang dinamakan bidang fundamental. Nilai konstanta yang terdapat dalam elemen Bessel sudah menggunakan basis data dari teori VSOP87 untuk posisi Matahari dan ELP2000 untuk posisi Bulan. Nilai-nilai konstanta dalam elemen Bessel akan berbeda untuk setiap gerhana. Data elemen Bessel didapatkan dari buku *Elements of Solar Eclipses* karya Jean Meeus. Selanjutnya Rinto Anugraha menggunakan data delta T yang diperoleh dari rumus polynomial dari NASA.

Perhitungan gerhana Matahari Rinto Anugraha dalam buku Mekanika Benda Langit tergolong dalam metode hisab *hakiki* kontemporer karena data-data yang digunakan berasal dari data-data astronomis yang aktual. Perhitungan gerhana Matahari yang terdapat dalam Mekanika Benda Langit dapat digolongkan sebagai perhitungan gerhana global (geosentris) karena proses perhitungannya tidak menggunakan data-data dari koordinat bujur maupun lintang lokal (toposentris). Justru perhitungannya bertujuan untuk mengetahui koordinat bujur dan lintang yang terkena garis umbra.

2. Hasil perhitungan algoritma gerhana garis sentral dalam Mekanika Benda Langit mempunyai sedikit perbedaan yaitu diantara 1 sampai 2 menit saja. Jadi bisa dikatakan perhitungan gerhana garis sentral dalam buku Mekanika Benda Langit sudah cukup akurat.

## **B. Saran**

1. Perhitungan gerhana yang terdapat dalam buku Mekanika Benda Langit yang dalam hal ini berupa perhitungan gerhana sentral sudah memberikan hasil yang cukup akurat. Selain itu pengguna juga dapat memahami dengan baik karena dilengkapi dengan contoh. Alangkah baiknya jika dilengkapi perhitungan gerhana lokal dari mulai awal kontak sampai akhir yang juga menggunakan data-data dari elemen Bessel.

2. Bagi para pakar ilmu Falak hendaknya senantiasa melakukan penelitian terhadap kajian-kajian astronomis tidak hanya yang menyangkut arah kiblat, waktu salat, awal bulan dan gerhana saja, agar khazanah keilmuan falak semakin luas dan berkembang serta dapat memberikan banyak manfaat bagi masyarakat.

### **C. Penutup**

Puji sukur *alhamdulillah* penulis haturkan ke hadirat *Ilahi Rabbi*, pada akhirnya penulis dapat menyelesaikan skripsi ini. Ucapan terimakasih penulis sampaikan kepada semua elemen yang telah membantu penulis dalam proses pengerjaan skripsi ini. Penulis menyadari masih banyak kekurangan dalam karya tulis sederhana ini. Untuk itu dengan hati lapang penulis siap menerima kritik dan masukan dari para pembaca yang budiman. Terimakasih.

## DAFTAR PUSTAKA

### Buku :

Admiranto, Gunawan, *Menjelajah Tata Surya*, Yogyakarta : Penerbit Kanisius, 2009.

Ahmad Musthafa, Syaikh al Farran, *Tafsir Imam Syafi'i*, terjemah oleh : Imam Masykur, Ghazali, Jakarta : Penerbit Almahira, cet. Ke-1, th. 2008.

Ali, Atabik & Ahmad Zuhdi Muhdlor, *Kamus Kontemporer Arab-Indonesia*, Yogyakarta : Multi Karya Grafik, cet IX, th. 1988.

Jafili, Imam Abi Abdillah Muhammad bin Ismail Ibnu Ibrahim bin al-Mughirah bin Bardazabah al-Bukhori, *Shahih al-Bukhari*, Juz I, Beirut, Libanon: Daar al-Fikr, 1981.

Kalili, Asad M. *Kamus Indonesia Arab*, Jakarta : PT Bulan Bintang, cet. Ke-3, th. 1993.

Maliki, Alawi Abbas, *Penjelasan Hukum-Hukum Syar'i Islam*, diterjemahkan oleh Bahrin Abu Bakar dari "*Ibanat al-Ahkam*", Bandung : Sinar Baru Algesindo, Cet 1, 1994.

Anugraha, Rinto, *Mekanika Benda Langit*, Yogyakarta : Jurusan Fisika FMIPA UGM, 2012,

Azhari, Susiknan, *Ensiklopedi Hisab Rukyah*, Yogyakarta : Pustaka Pelajar, Cet ke-2, 2008

Azwar, Saifudin, *Metode Penelitian*, Yogyakarta : Pustaka Pelajar, Cet. Ke-1, th 1998.

Basrowi dan Suwandi, *Memahami Penelitian Kualitatif*, Jakarta : Rineka Cipta, Cet. Ke-1, th 2008.

Departemen Agama Republik Indonesia, *Alquran Dan Terjemahnya*, Semarang : CV. ALWAAH, th. 1993.

Direktorat Jenderal Badan Peradilan Agama, *Almanak Hisab Rukyah*, Jakarta: Mahkamah Agung RI, 2007



- Echols, John M. & Hasan Syadily, *Kamus Indonesia-Inggris*, Jakarta : PT Gramedia, edisi ke-3, th. 2007.
- Fitria, Wahyu, *Studi Komparatif Hisab Gerhana Bulan dalam Kitab al-Khulasoh al-Wafiyah dan Ephemeris*, Skripsi Fakultas Syari'ah UIN Walisongo Semarang 2011.
- Habieb, Sa'di Abu, *Persepakatan Ulama dalam Hukum Islam, diterjemahkan oleh Mahfudz, KH. M. Sahal dan KH. A. Mustafa Bisri dari "Ensiklopedi Ijma"*, Jakarta : PT Pustaka Firdaus, 2006
- Hafidz, Al Imam Ibnu Hajar Al-Asqalani, *Fathul Baari Jilid 6*, Jakarta : Pustaka Azzam, cet. Ke-3, th. 2011.
- Hambali, *Slamet Pengantar Ilmu Falak Menyimak Proses Pembentukan Alam Semesta*, Banyuwangi : Bismillah Publisher, cet. Ke-1, th. 2012.
- Hikmah, Mamba'ul, *Studi Analisis Hisab Gerhana Bulan dalam Kitab Ittifaq Dzati al-Bain Karya KH. Zubaer Abdul Karim*, Skripsi Fakultas Syari'ah UIN Walisongo Semarang, 2011.
- Hornby, A S, *Oxford Advanced Learner's Dictionary of Current English*, Great Britain : OXFORD UNIVERSITY PRESS, 5th ed., th. 1995, hal. 367
- Ichtiyanto dkk, *Almanak Hisab Rukyah*, Jakarta : Proyek pembinaan badan peradilan agama islam, th. 1981.
- Izzuddin, Ahmad, *Ilmu Falak (Metode Hisab-Rukyah dan Solusi Permasalahannya)*, Semarang : Komala Grafika, 2006.
- \_\_\_\_\_, *Ilmu Falak Praktis*, Semarang : PT Pustaka Rizki Putra, cet ke-2, th 2012.
- \_\_\_\_\_, *Fikih Hisab Rukyah*, Jakarta : PT Gelora Aksara Pratama, 2007.
- Khazin, Mukhyidin, *Ilmu Falak (Dalam Teori dan Praktik)*, Yogyakarta : Buana Pustaka, 2004.
- Meeus, Jean, *Astronomical Algorithms*, Virginia: Willman Bell. Inc., th. 1991.

- Meeus, Jean, *ELEMENTS Of SOLAR ECLIPSE 1951 – 2200*, Virginia : Willmann-Bell, Inc. Th. 1989.
- Narbuko, Cholid dan Abu Achmadi, *Metodologi Penelitian*, Jakarta : Bumi Aksara, th 2010.
- Nashirudin Al Albani, Muhammad, *Ringkasan Shahih Bukhari*, Jakarta : Pustaka Azzam, cet. Ke-3, th. 2014.
- Nurjaman, Zainudin, *Sistem Hisab Gerhana Bulan Analisis Pendapat KH. Noor Ahmad SS dalam Kitab Nur al-Anwar* , Skripsi Fakultas Syari'ah UIN Walisongo, Semarang 2012.
- Satori, Djam'an, *Metodologi Penelitian Kulaitatif*, Bandung : Alfabeta, th 2009.
- Shaleh, Syaikh bin Fauzan al-Fauzan, *Mulakhhkas Fiqhi Jilid 1*, terjemah oleh : Abu Umar Basyier, Jakarta : Pustaka Ibnu Katsir, cet ke-1, th. 2011.
- Sugiono, *Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif dan R & D*, Bandung : Alfabeta, th 2008.
- Sukarni, *Metode Hisab Gerhana Bulan Ahmad Ghozali dalam Kitab Irsyad al-Murid*, Skripsi Fakultas Syari'ah UIN Walisongo Semarang, 2014.
- Syarif, Muh. Rasywan, *Fiqh Astronomi Gerhana Matahari*, Tesis, Semarang : Program Pasca Sarjana UIN Walisongo, th. 2012.
- Tim Penyusun Fakultas Syari'ah IAIN Walisongo, *Pedoman Penulisan Skripsi*, Semarang : Fakultas Syari'ah IAIN Walisongo, th 2008.
- Umam, Khotibul, *Metode Hisab Gerhana Matahari KH. Ahmad Ghozali dalam Kitab Irsyad al-Murid*, Skripsi Fakultas Syari'ah UIN Walisongo Semarang, 2014.

#### **Jurnal :**

- Tatmainul Qulub, Siti, "Telaah Kritis Putusan Sidang Itsbat Penetapan Awal Bulan Qamariyah Di Indonesia dalam Perspektif Ushul Fikih" Dalam Jurnal Al-Ahkam ; Jurnal Pemikiran Hukum Islam, Vol. 25 No. 1, Th. 2015

**Internet :**

<http://www.wikipedia.org>

<http://www.eclipse.nasa.gov>

**Wawancara :**

Dr. Eng. Rinto Anugraha, M.Si di kantor Fakultas MIPA Universitas Gajah Mada  
Yogyakarta pada tanggal 19 Februari 2016 pukul 14:14 WIB

Dr. Eng. Rinto Anugraha, M.Si di kantor Fakultas MIPA Universitas Gajah Mada  
Yogyakarta pada tanggal 1 Juni 2016 pukul 14:37 WIB

Lampiran 1

GERHANA MATAHARI Total/Annular (central line) 21 Agustus 2017

Buku Mekanika Benda Langit

karya : Dr. Eng. Rinto Anugraha, M.Si.

|                        |         |       |       |       |
|------------------------|---------|-------|-------|-------|
|                        | Jam     | Menit | Detik |       |
| Waktu (WIB) =          | 18      | 25    | 28    | WIB   |
| Waktu (UT) =           | 18      | 25    | 31.8  | UT    |
| Delta T (detik) =      |         |       | 68.4  | detik |
| Waktu (TD) =           | 18.4445 |       |       | TD    |
| Waktu referensi (T0) = | 18      |       |       | TD    |
| t =                    | 0.4445  |       |       | jam   |

| Elemen Bessel | X          | Y          | d        | M        | L1        | L2        | tan f    |
|---------------|------------|------------|----------|----------|-----------|-----------|----------|
| 0             | -0.129588  | 0.485236   | 11.86696 | 89.24543 | 0.542086  | -0.004018 |          |
| 1             | 0.5406426  | -0.14164   | -0.01362 | 15.00394 | 0.0001241 | 0.0001234 | 0.004622 |
| 2             | -0.0000294 | -0.0000905 | -2E-06   |          | -1.18E-05 | -1.17E-05 | 0.004698 |
| 3             | -0.0000081 | 0.00000205 |          |          |           |           |          |

Hasil

|                                  |   |
|----------------------------------|---|
| B =                              | 0.89905                                     |
| Lintang geografis lokasi =       | POSITIF 36:57:18 derajat                    |
| Bujur geografis lokasi =         | NEGATIF 87:40:28 derajat                    |
| Altitude matahari =              | POSITIF 63:54:28 derajat = 63.90781 derajat |
| Azimuth matahari =               | 197:56:05 derajat = ##### derajat           |
| Lebar lintasan =                 | 115.8 km                                    |
| Durasi gerhana total di lokasi = | 2 menit dan 41.9 detik                      |
| Awal gerhana di lokasi = pukul   | 18:25:28 (WIB)                              |
| Akhir gerhana di lokasi = pukul  | 18:28:10 (WIB)                              |
| Jenis Gerhana =                  | TOTAL                                       |
| Sudut radius bulan/matahari =    | 1.03092                                     |

| Detil perhitungan |            |
|-------------------|------------|
| X =               | 0.11072112 |
| Y =               | 0.42225932 |

|                                 |            |           |          |           |         |           |         |
|---------------------------------|------------|-----------|----------|-----------|---------|-----------|---------|
| Deklinasi (d) =                 | 11.8609046 | derajat = | 0.207012 | radian    |         |           |         |
| M =                             | 95.9146804 | derajat   |          |           |         |           |         |
| L2 =                            | -0.0039655 |           |          |           |         |           |         |
| X' =                            | 0.54061166 |           |          |           |         |           |         |
| Y' =                            | -0.1417192 |           |          |           |         |           |         |
| w =                             | 1.00322129 |           |          |           |         |           |         |
| p =                             | 0.26186812 |           |          |           |         |           |         |
| b =                             | -0.1476786 |           |          |           |         |           |         |
| c =                             | 0.56333911 |           |          |           |         |           |         |
| y1 =                            | 0.42361954 |           |          |           |         |           |         |
| b1 =                            | 0.20619855 |           |          |           |         |           |         |
| b2 =                            | 0.97851018 |           |          |           |         |           |         |
| B =                             | 0.89904801 |           |          |           |         |           |         |
| Hour Angle (H) =                | 0.13883379 | radian =  | 7.95459  | derajat   |         |           |         |
| fai1 =                          | 0.64337415 | radian =  | 36.86262 | derajat   |         |           |         |
| TAN(Lintang) =                  | 0.75232404 |           |          |           |         |           |         |
| Lintang =                       | 0.64498684 | radian =  | 36.95502 | derajat = | POSITIF | 36:57:18  | derajat |
| Bujur =                         | -87.67431  | derajat = | -87.6743 | derajat = | NEGATIF | 87:40:28  | derajat |
| L2' =                           | -0.0081895 |           |          |           |         |           |         |
| a =                             | 0.3329337  |           |          |           |         |           |         |
| n =                             | 0.36421673 |           |          |           |         |           |         |
| Durasi =                        | 161.9      | detik =   | 2        | menit dan | 41.9    | detik     |         |
| Jenis Gerhana =                 | TOTAL      |           |          |           |         |           |         |
| SIN(h) =                        | 0.89808753 |           |          |           |         |           |         |
| Altitude =                      | 1.1154017  | radian =  | 63.90781 | derajat = | POSITIF | 63:54:28  | derajat |
| Azimuth =                       | 197.934634 | derajat = |          |           |         | 197:56:05 | derajat |
| K =                             | 0.90176915 |           |          |           |         |           |         |
| Lebar lintasan =                | 115.8      | km        |          |           |         |           |         |
| L1' =                           | 0.53798325 |           |          |           |         |           |         |
| Sudut radius bulan/matahari =   | 1.03091599 |           |          |           |         |           |         |
| Awal gerhana di lokasi = pukul  | 18:25:28   | WIB       |          |           |         |           |         |
| Akhir gerhana di lokasi = pukul | 18:28:10   | WIB       |          |           |         |           |         |

**GERHANA MATAHARI Total/Annular (central line) 2 Juli 2019**

**Buku Mekanika Benda Langit**

**karya : Dr. Eng. Rinto Anugraha, M.Si.**

|                        |             |       |       |       |
|------------------------|-------------|-------|-------|-------|
|                        | Jam         | Menit | Detik |       |
| Waktu (WIB) =          | 18          | 25    | 28    | WIB   |
| Waktu (UT) =           | 19          | 22    | 53    | UT    |
| Delta T (detik) =      |             |       | 76.2  | detik |
| Waktu (TD) =           | 19.40255556 |       |       | TD    |
| Waktu referensi (T0) = | 19          |       |       | TD    |
| t =                    | 0.402555556 |       |       | jam   |

| Elemen Bessel | X           | Y           | d         | M         | L1         | L2         | tan f    |
|---------------|-------------|-------------|-----------|-----------|------------|------------|----------|
| 0             | -0.215599   | -0.650886   | 23.01295  | 103.97973 | 0.537624   | -0.008457  |          |
| 1             | 0.5662087   | 0.0106399   | -0.003187 | 14.999505 | -0.0000898 | -0.0000894 | 0.004598 |
| 2             | 0.0000274   | -0.0001272  | -0.000005 |           | -0.000012  | -0.000012  | 0.004576 |
| 3             | -0.00000879 | -0.00000027 |           |           |            |            |          |

**Hasil**

|                                  |                   |                             |
|----------------------------------|-------------------|-----------------------------|
| B =                              | 0.76114           |                             |
| Lintang geografis lokasi =       | NEGATIF 17:24:08  | derajat                     |
| Bujur geografis lokasi =         | NEGATIF 108:57:33 | derajat                     |
| Altitude matahari =              | POSITIF 49:34:47  | derajat = 49.57968 derajat  |
| Azimuth matahari =               | 358:56:56         | derajat = 358.94884 derajat |
| Lebar lintasan =                 | 200.7             | km                          |
| Durasi gerhana total di lokasi = | 4                 | menit dan 32.2 detik        |
| Awal gerhana di lokasi = pukul   | 18:25:28          | (WIB)                       |
| Akhir gerhana di lokasi = pukul  | 18:30:00          | (WIB)                       |
| Jenis Gerhana =                  | TOTAL             |                             |
| Sudut radius bulan/matahari =    | 1.04588           |                             |

|                          |             |           |                    |
|--------------------------|-------------|-----------|--------------------|
| <b>Detil perhitungan</b> |             |           |                    |
| X =                      | 0.012335325 |           |                    |
| Y =                      | -0.64662348 |           |                    |
| Deklinasi (d) =          | 23.01166625 | derajat = | 0.401629342 radian |

|                         |              |           |              |           |         |           |         |
|-------------------------|--------------|-----------|--------------|-----------|---------|-----------|---------|
| M =                     | 110.0178641  | derajat   |              |           |         |           |         |
| L2 =                    | -0.008494933 |           |              |           |         |           |         |
| X' =                    | 0.566226487  |           |              |           |         |           |         |
| Y' =                    | 0.010537359  |           |              |           |         |           |         |
| w =                     | 1.002847802  |           |              |           |         |           |         |
| p =                     | 0.261790748  |           |              |           |         |           |         |
| b =                     | 0.009274976  |           |              |           |         |           |         |
| c =                     | 0.500051777  |           |              |           |         |           |         |
| y1 =                    | -0.648464936 |           |              |           |         |           |         |
| b1 =                    | 0.392031807  |           |              |           |         |           |         |
| b2 =                    | 0.919951666  |           |              |           |         |           |         |
| B =                     | 0.761144577  |           |              |           |         |           |         |
| Hour Angle (H) =        | 0.012923496  | radian =  | 0.740461754  | derajat   |         |           |         |
| fail =                  | -0.302768074 | radian =  | -17.34733284 | derajat   |         |           |         |
| TAN(Lintang) =          | -0.313422652 |           |              |           |         |           |         |
| Lintang =               | -0.303725213 | radian =  | -17.40217283 | derajat = | NEGATIF | 17:24:08  | derajat |
| Bujur =                 | -108.9590334 | derajat = | -108.9590334 | derajat = | NEGATIF | 108:57:33 | derajat |
| L2' =                   | -0.01197755  |           |              |           |         |           |         |
| a =                     | 0.316647277  |           |              |           |         |           |         |
| n =                     | 0.316783085  |           |              |           |         |           |         |
| Durasi =                | 272.2        | detik =   | 4            | menit dan | 32.2    | detik     |         |
| Jenis Gerhana =         | TOTAL        |           |              |           |         |           |         |
| SIN(h) =                | 0.761308396  |           |              |           |         |           |         |
| Altitude =              | 0.865328647  | radian =  | 49.57967935  | derajat = | POSITIF | 49:34:47  | derajat |
| Azimuth =               | 358.948844   | derajat = |              |           |         | 358:56:56 | derajat |
| K =                     | 0.76117321   |           |              |           |         |           |         |
| Lebar lintasan =        | 200.7        | km        |              |           |         |           |         |
| L1' =                   | 0.534085859  |           |              |           |         |           |         |
| Sudut radius bulan/mata | 1.045881477  |           |              |           |         |           |         |
| Awal gerhana di lokasi  | 18:25:28     | WIB       |              |           |         |           |         |
| Akhir gerhana di lokasi | 18:30:00     | WIB       |              |           |         |           |         |

**GERHANA MATAHARI Total/Annular (central line) 20 April 2023**  
**Buku Mekanika Benda Langit**  
**karya : Dr. Eng. Rinto Anugraha, M.Si.**

|                        |            |       |       |       |
|------------------------|------------|-------|-------|-------|
|                        | Jam        | Menit | Detik |       |
| Waktu (UT) =           | 4          | 16    | 37.5  | UT    |
| Delta T (detik) =      |            |       | 80.2  | detik |
| Waktu (TD) =           | 4.29936111 |       |       | TD    |
| Waktu referensi (T0) = | 4          |       |       | TD    |
| t =                    | 0.29936111 |       |       | jam   |

| Elemen Bessel | X         | Y          | d        | M         | L1        | L2        | tan f    |
|---------------|-----------|------------|----------|-----------|-----------|-----------|----------|
| 0             | 0.026965  | -0.427509  | 11.41179 | 240.24293 | 0.546797  | 0.00067   |          |
| 1             | 0.4950181 | 0.2441992  | 0.013741 | 15.003418 | 0.0001216 | 0.000121  | 0.004655 |
| 2             | 0.0000135 | -0.0000494 | -3E-06   |           | -1.16E-05 | -1.15E-05 | 0.004632 |
| 3             | -7.06E-06 | -3.68E-06  |          |           |           |           |          |

Hasil

|                                  |   |
|----------------------------------|---|
| B =                              | 0.91810                                     |
| Lintang geografis lokasi =       | NEGATIF 9:35:48 derajat                     |
| Bujur geografis lokasi =         | POSITIF 125:49:56 derajat                   |
| Altitude matahari =              | POSITIF 66:39:16 derajat = 66.65454 derajat |
| Azimuth matahari =               | 333:56:11 derajat = 333.93636 derajat       |
| Lebar lintasan =                 | 48.9 km                                     |
| Durasi gerhana total di lokasi = | 1 menit dan 15.9 detik                      |

|                               |         |
|-------------------------------|---------|
| Jenis Gerhana =               | TOTAL   |
| Sudut radius bulan/matahari = | 1.01316 |

| Detail perhitungan |            |           |          |        |
|--------------------|------------|-----------|----------|--------|
| X =                | 0.17515519 |           |          |        |
| Y =                | -0.3544098 |           |          |        |
| Deklinasi (d) =    | 11.4159033 | derajat = | 0.199245 | radian |



|                               |            |           |          |           |         |           |         |  |
|-------------------------------|------------|-----------|----------|-----------|---------|-----------|---------|--|
| M –                           | 244.73437  | derajat   |          |           |         |           |         |  |
| L2 –                          | 0.00070519 |           |          |           |         |           |         |  |
| X' –                          | 0.49502428 |           |          |           |         |           |         |  |
| Y' –                          | 0.24416863 |           |          |           |         |           |         |  |
| w –                           | 1.00323166 |           |          |           |         |           |         |  |
| p –                           | 0.26185904 |           |          |           |         |           |         |  |
| b –                           | 0.23509041 |           |          |           |         |           |         |  |
| c –                           | 0.47665536 |           |          |           |         |           |         |  |
| y1 –                          | -0.3555551 |           |          |           |         |           |         |  |
| b1 –                          | 0.19856906 |           |          |           |         |           |         |  |
| b2 –                          | 0.9800869  |           |          |           |         |           |         |  |
| B –                           | 0.91809652 |           |          |           |         |           |         |  |
| Hour Angle (H) –              | 0.1785722  | radian –  | 10.23143 | derajat   |         |           |         |  |
| fail –                        | -0.1669437 | radian –  | -9.56517 | derajat   |         |           |         |  |
| TAN(Lintang) –                | -0.169079  |           |          |           |         |           |         |  |
| Lintang –                     | -0.1674949 | radian –  | -9.59675 | derajat – | NEGATIF | 9:35:48   | derajat |  |
| Bujur –                       | -234.16786 | derajat – | 125.8321 | derajat – | POSITIF | 125:49:56 | derajat |  |
| L2' –                         | -0.0035472 |           |          |           |         |           |         |  |
| a –                           | 0.24099973 |           |          |           |         |           |         |  |
| n –                           | 0.3366725  |           |          |           |         |           |         |  |
| Durasi –                      | 75.9       | detik –   | 1        | menit dan | 15.9    | detik     |         |  |
| Jenis Gerhana –               | TOTAL      |           |          |           |         |           |         |  |
| SIN(h) –                      | 0.91813229 |           |          |           |         |           |         |  |
| Altitude –                    | 1.16334127 | radian –  | 66.65454 | derajat – | POSITIF | 66:39:16  | derajat |  |
| Azimuth –                     | 333.936362 | derajat – |          |           |         | 333:56:11 | derajat |  |
| K –                           | 0.92617945 |           |          |           |         |           |         |  |
| Lebar lintasan –              | 48.9       | km        |          |           |         |           |         |  |
| L1' –                         | 0.54255862 |           |          |           |         |           |         |  |
| Sudut radius bulan/matahari – | 1.01316205 |           |          |           |         |           |         |  |

## Lampiran 2

### Report gerhana Matahari total 21 Agustus 2017 NASA

## Total Solar Eclipse of 2017 Aug 21

Ecliptic Conjunction = 18:31:19.6 TD (= 18:30:11.2 UT)

Greatest Eclipse = 18:26:40.3 TD (= 18:25:31.8 UT)

Eclipse Magnitude = 1.0306      Gamma = 0.4367

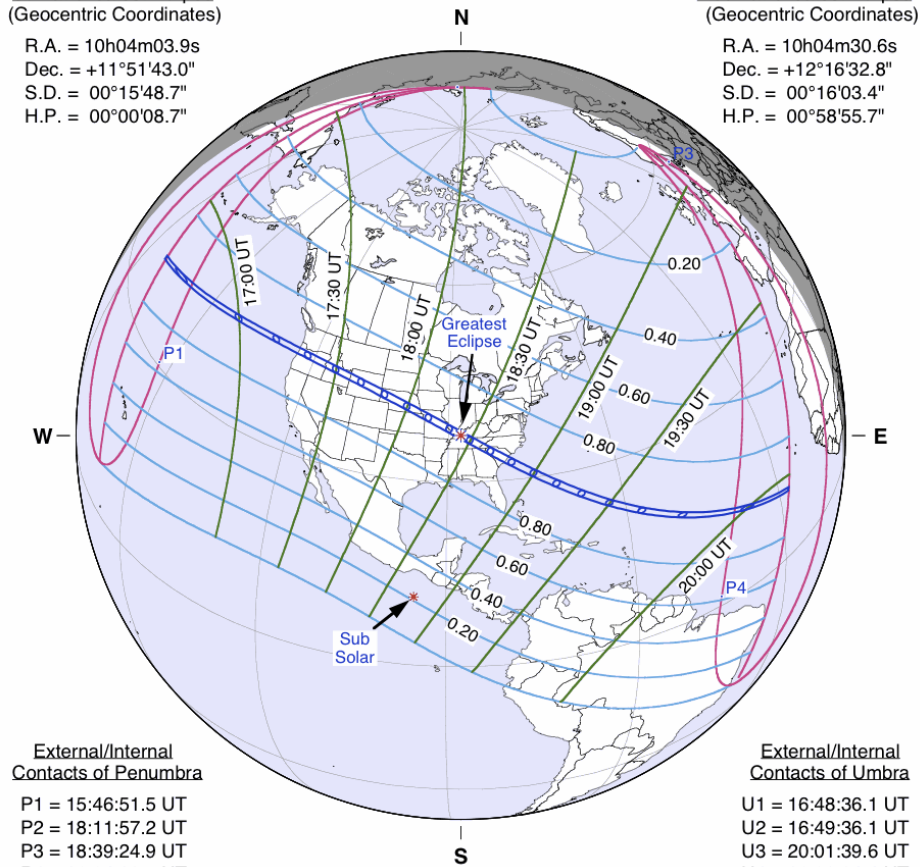
Saros Series = 145      Member = 22 of 77

#### Sun at Greatest Eclipse (Geocentric Coordinates)

R.A. = 10h04m03.9s  
Dec. = +11°51'43.0"  
S.D. = 00°15'48.7"  
H.P. = 00°00'08.7"

#### Moon at Greatest Eclipse (Geocentric Coordinates)

R.A. = 10h04m30.6s  
Dec. = +12°16'32.8"  
S.D. = 00°16'03.4"  
H.P. = 00°58'55.7"



#### External/Internal Contacts of Penumbra

P1 = 15:46:51.5 UT  
P2 = 18:11:57.2 UT  
P3 = 18:39:24.9 UT  
P4 = 21:04:23.5 UT

#### Constants & Ephemeris

$\Delta T = 68.4$  s  
 $k1 = 0.2725076$   
 $k2 = 0.2722810$   
 $\Delta b = 0.0''$      $\Delta l = 0.0''$   
Eph. = JPL DE405

#### External/Internal Contacts of Umbra

U1 = 16:48:36.1 UT  
U2 = 16:49:36.1 UT  
U3 = 20:01:39.6 UT  
U4 = 20:02:34.4 UT

#### Circumstances at Greatest Eclipse: 18:25:31.8 UT

Lat. = 36°58.0'N      Sun Alt. = 63.9°  
Long. = 087°40.3'W      Sun Azm. = 197.9°  
Path Width = 114.7 km      Duration = 02m40.1s

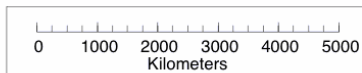
#### Circumstances at Greatest Duration: 18:21:49.2 UT

Lat. = 37°35'N      Sun Alt. = 63.8°  
Long. = 089°07'W      Duration = 02m40.2s

#### Geocentric Libration (Optical + Physical)

$l = 4.64^\circ$   
 $b = -0.57^\circ$   
 $c = 21.90^\circ$

Brown Lun. No. = 1171



F. Espenak, NASA's GSFC  
eclipse.gsfc.nasa.gov  
2014 Feb 22



*Lampiran 2.1*

*Report gerhana Matahari total 2 Juli 2019 NASA*

## Total Solar Eclipse of 2019 Jul 02

Geocentric Conjunction = 19:21:36.4 UT      J.D. = 2458667.306672

Greatest Eclipse = 19:22:53.0 UT      J.D. = 2458667.307558

Eclipse Magnitude = 1.0459      Gamma = -0.6464

Saros Series = 127      Member = 58 of 82

### Sun at Greatest Eclipse (Geocentric Coordinates)

R.A. = 06h46m14.7s

Dec. = +23°00'36.5"

S.D. = 00°15'43.8"

H.P. = 00°00'08.6"

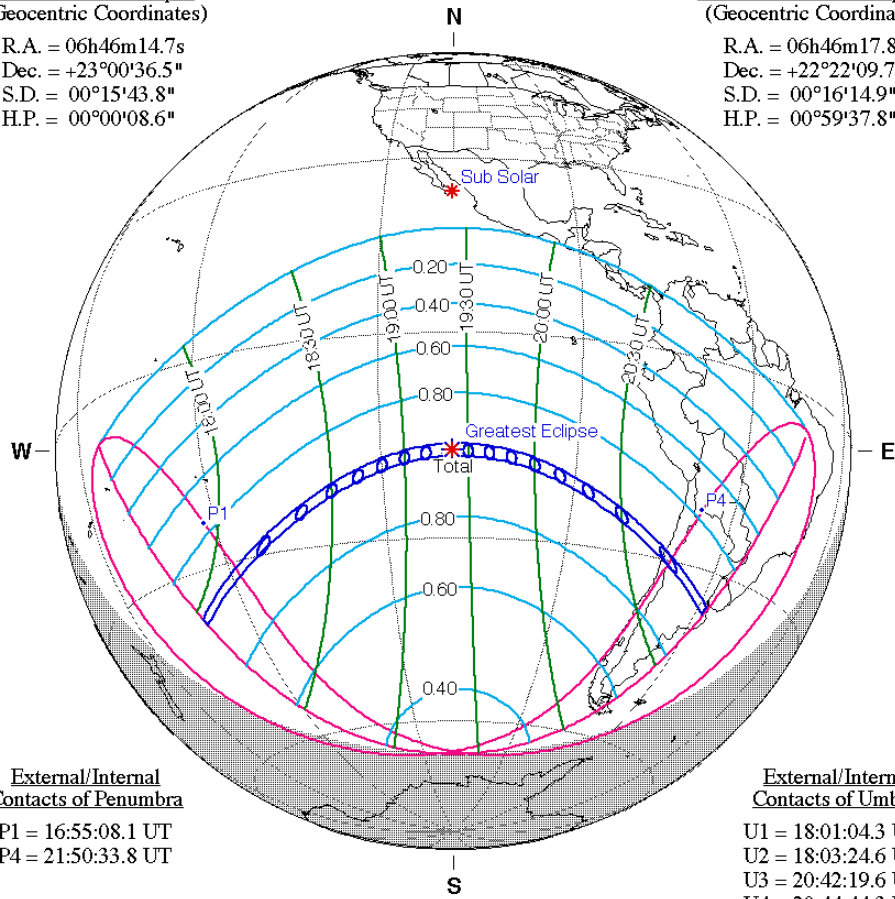
Moon at Greatest Eclipse  
(Geocentric Coordinates)

R.A. = 06h46m17.8s

Dec. = +22°22'09.7"

S.D. = 00°16'14.9"

H.P. = 00°59'37.8"



### External/Internal Contacts of Penumbra

P1 = 16:55:08.1 UT

P4 = 21:50:33.8 UT

### External/Internal Contacts of Umbra

U1 = 18:01:04.3 UT

U2 = 18:03:24.6 UT

U3 = 20:42:19.6 UT

U4 = 20:44:44.3 UT

### Local Circumstances at Greatest Eclipse

Lat. = 17°22.7'S      Sun Alt. = 49.6°

Long. = 108°58.8'W      Sun Azm. = 359.0°

Path Width = 200.6 km    Duration = 04m32.8s

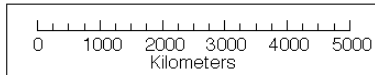
### Ephemeris & Constants

$$\text{Eph.} = \text{Newcomb}/\text{ILE}$$
$$\Delta T = 76.2 \text{ s}$$
$$k_1 = 0.2724880$$
 $k_2 = 0.2722810$ 
$$\Delta b = 0.0'' \quad \Delta l = 0.0''$$

### Geocentric Libration (Optical + Physical)

$$1 = -3.96^\circ$$
$$b = 0.86^\circ$$
$$c = 6.09^\circ$$

Brown Lun. No. = 1194



*F. Espenak, NASA's GSFC - Fri, Jul 2,*

[sunearth.gsfc.nasa.gov/eclipse/eclipse.html](http://sunearth.gsfc.nasa.gov/eclipse/eclipse.html)

## Lampiran 2.2

### Report gerhana Matahari hybrid 20 April 2013 NASA

#### Hybrid Solar Eclipse of 2023 Apr 20

Geocentric Conjunction = 03:55:26.5 UT    J.D. = 2460054.663502  
Greatest Eclipse = 04:16:37.5 UT    J.D. = 2460054.678212

Eclipse Magnitude = 1.0132    Gamma = -0.3951

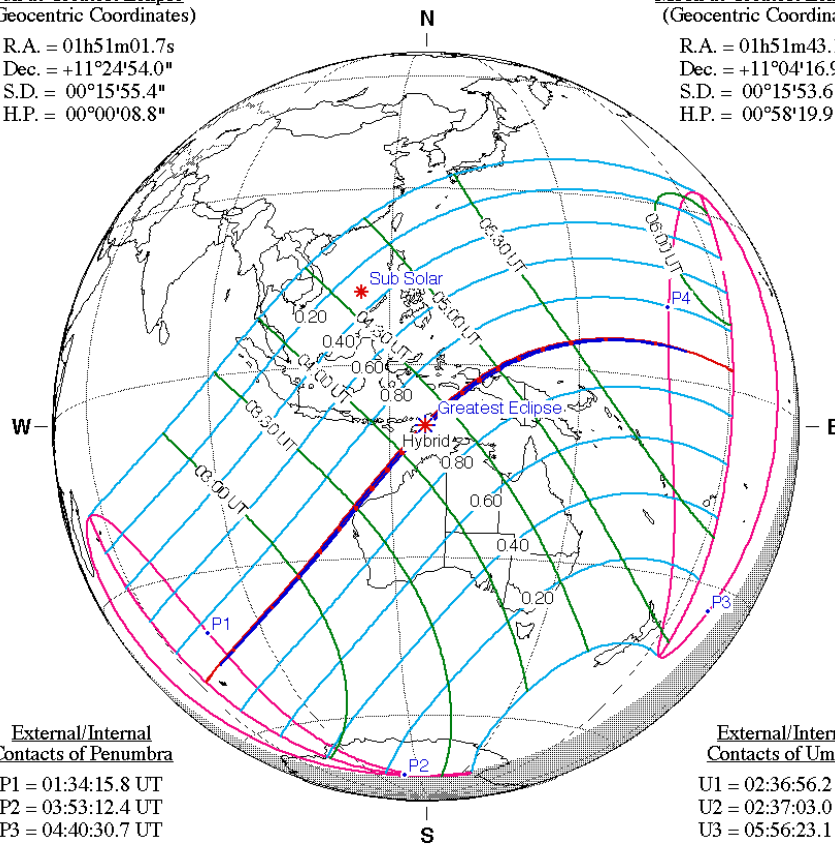
Saros Series = 129    Member = 52 of 80

##### Sun at Greatest Eclipse (Geocentric Coordinates)

R.A. = 01h51m01.7s  
Dec. = +11°24'54.0"  
S.D. = 00°15'55.4"  
H.P. = 00°00'08.8"

##### Moon at Greatest Eclipse (Geocentric Coordinates)

R.A. = 01h51m43.1s  
Dec. = +11°04'16.9"  
S.D. = 00°15'53.6"  
H.P. = 00°58'19.9"



##### External/Internal Contacts of Penumbra

P1 = 01:34:15.8 UT  
P2 = 03:53:12.4 UT  
P3 = 04:40:30.7 UT  
P4 = 06:59:13.5 UT

##### External/Internal Contacts of Umbra

U1 = 02:36:56.2 UT  
U2 = 02:37:03.0 UT  
U3 = 05:56:23.1 UT  
U4 = 05:56:35.2 UT

##### Local Circumstances at Greatest Eclipse

Lat. = 09°35.4'S    Sun Alt. = 66.7°  
Long. = 125°48.4'E    Sun Azm. = 334.0°  
Path Width = 49.0 km    Duration = 01m16.1s

##### Ephemeris & Constants

Eph. = Newcomb/ILE  
 $\Delta T = 80.2$  s  
k1 = 0.2724880  
k2 = 0.2722810  
 $\Delta b = 0.0''$      $\Delta l = 0.0''$

##### Geocentric Libration (Optical + Physical)

l = 4.67°  
b = 0.46°  
c = -19.05°

Brown Lun. No. = 1241



F. Espenak, NASA's GSFC - Fri, Jul 2,  
[sunearth.gsfc.nasa.gov/eclipse/eclipse.html](http://sunearth.gsfc.nasa.gov/eclipse/eclipse.html)

***Elemen Bessel untuk gerhana Matahari  
dari tahun 2010 sampai tahun 2050***

| DATE<br>TYPE<br>DATA                  | JDE<br>&<br>SAROS        | To | X0<br>X1<br>X2<br>X3                                | Y0<br>Y1<br>Y2<br>Y3                                | 40<br>41<br>42                     | M0<br>M1               | L10<br>L11<br>L12                    | L20<br>L21<br>L22                     | TAN #1<br>TAN #2       |
|---------------------------------------|--------------------------|----|---|---|------------------------------------|------------------------|--------------------------------------|---------------------------------------|------------------------|
| 2050 NOV 14<br>P<br>0.889<br>1.04450  | 2470125.06<br>629<br>153 | 14 | 0.417816<br>0.515743<br>0.0000171<br>-0.00000638    | 0.990357<br>-0.0836420<br>0.0000703<br>0.00000095   | -18.36299<br>-0.010320<br>0.000004 | 33.89333<br>14.999669  | 0.564104<br>-0.0001116<br>-0.0000106 | 0.017892<br>0.0001110<br>-0.0000105   | 0.0047262<br>0.0047037 |
| 2051 APR 11<br>P<br>0.985<br>1.01577  | 2470272.39<br>634<br>120 | 2  | -0.387368<br>0.3591960<br>0.0000343<br>-0.00000951  | 0.945742<br>0.1654096<br>-0.0001076<br>-0.00000272  | 8.24895<br>0.014931<br>-0.000002   | 209.70674<br>15.004103 | 0.533989<br>0.0000253<br>-0.0000129  | -0.012075<br>0.0000252<br>-0.0000129  | 0.0046664<br>0.0046432 |
| 2051 OCT 4<br>P<br>0.602<br>-1.20957  | 2470449.38<br>640<br>125 | 21 | -0.379207<br>0.4825723<br>0.0000174<br>-0.00000544  | -1.148741<br>-0.1311637<br>0.0000725<br>0.00000164  | -4.26145<br>-0.015669<br>0.000001  | 137.84663<br>15.004347 | 0.569523<br>0.0000403<br>-0.0000098  | 0.023282<br>0.0000401<br>-0.0000098   | 0.0046749<br>0.0046516 |
| 2052 MAR 30<br>P<br>0.32368           | 2470627.27<br>646<br>130 | 19 | 0.160359<br>0.5483147<br>0.0000117<br>-0.00000893   | 0.389416<br>0.171027<br>-0.0000423<br>-0.00000272   | 4.26382<br>0.015707<br>-0.000001   | 103.96399<br>15.004423 | 0.538291<br>-0.0000908<br>-0.0000126 | -0.007794<br>-0.0000903<br>-0.0000125 | 0.0046807<br>0.0046574 |
| 2052 SEP 22<br>P<br>-0.44822          | 2470803.49<br>652<br>135 | 24 | 0.030282<br>0.3034739<br>-0.0000137<br>-0.00000641  | -0.482893<br>-0.1610753<br>0.0000272<br>0.00000177  | -0.24491<br>-0.015825<br>-0.000000 | 181.92548<br>15.004665 | 0.557837<br>0.0001075<br>-0.0000104  | 0.011656<br>0.0001069<br>-0.0000106   | 0.0046598<br>0.0046366 |
| 2053 MAR 20<br>P<br>-0.40911          | 2470981.80<br>658<br>140 | 7  | 0.053130<br>0.3178724<br>0.0000141<br>-0.00000717   | -0.412542<br>0.1658834<br>0.0000266<br>-0.00000221  | 0.05353<br>0.016063<br>-0.000000   | 283.16191<br>15.004330 | 0.532675<br>-0.0001213<br>-0.0000113 | 0.006518<br>-0.0001207<br>-0.0000113  | 0.0046956<br>0.0046722 |
| 2053 SEP 12<br>P<br>0.31377           | 2471157.90<br>664<br>145 | 10 | 0.323231<br>0.3244320<br>-0.0000375<br>-0.00000817  | 0.226470<br>-0.1685794<br>-0.0003281<br>0.00000249  | 3.91319<br>-0.013312<br>-0.000001  | 330.96356<br>13.004990 | 0.541857<br>0.0000990<br>-0.0000120  | -0.004245<br>0.0000985<br>-0.0000119  | 0.0046454<br>0.0046223 |
| 2054 MAR 9<br>P<br>0.6408<br>-1.17128 | 2471326.02<br>670<br>150 | 13 | 0.565217<br>0.4894181<br>-0.0000183<br>-0.00000374  | -1.049744<br>0.1339809<br>0.0000723<br>-0.00000173  | -4.28061<br>0.013941<br>0.000001   | 12.40063<br>15.003823  | 0.567883<br>-0.0000910<br>-0.0000102 | 0.021750<br>-0.0000906<br>-0.0000101  | 0.0047104<br>0.0046870 |
| 2054 AUG 3<br>P<br>0.045<br>-1.49432  | 2471483.25<br>675<br>117 | 18 | -0.314839<br>0.5729670<br>-0.0000003<br>-0.00000972 | -1.461298<br>-0.1078622<br>-0.0000321<br>0.00000175 | 17.29013<br>-0.010778<br>-0.000004 | 88.44230<br>15.002359  | 0.530887<br>-0.0000228<br>-0.0000128 | -0.015161<br>-0.0000227<br>-0.0000127 | 0.0046071<br>0.0045842 |
| 2054 SEP 2<br>P<br>0.980<br>1.02130   | 2471512.95<br>676<br>155 | 1  | 0.202487<br>0.5569272<br>-0.0000306<br>-0.00000950  | 1.003274<br>-0.1664793<br>-0.0001046<br>0.00000275  | 7.88291<br>-0.014793<br>-0.000002  | 175.05238<br>15.004714 | 0.532282<br>0.0000219<br>-0.0000128  | -0.013773<br>0.0000317<br>-0.0000128  | 0.0046325<br>0.0046094 |



| CO   | DATE<br>TYPE<br>GAPPA            | JDE<br>#<br>SMO3         | Yc | X0<br>X1<br>X2<br>X3                                | Y0<br>Y1<br>Y2<br>Y3                                 | d0<br>d1<br>d2                     | MO<br>M1               | L10<br>L11<br>L12                    | L20<br>L21<br>L22                     | TAN #1<br>TAN #2       |
|------|----------------------------------|--------------------------|----|---|--|------------------------------------|------------------------|--------------------------------------|---------------------------------------|------------------------|
| 2046 | AUG 2<br>t<br>-0.53513           | 246599.93<br>576<br>146  | 10 | -0.382108<br>0.5318330<br>-0.0000108<br>-0.00000838 | -0.429511<br>-0.2049787<br>-0.0000098<br>0.00000349  | 17.48568<br>-0.010271<br>-0.000004 | 328.41596<br>15.002112 | 0.336304<br>-0.0000798<br>-0.0000122 | -0.009870<br>-0.0000794<br>-0.0000122 | 0.0046066<br>0.0045836 |
| 2047 | JAN 26<br>p<br>0.891<br>1.04479  | 2465736.56<br>582<br>151 | 2  | -0.134451<br>0.4984688<br>-0.0000320<br>-0.00000637 | 1.043662<br>0.1810905<br>0.0000641<br>-0.00000246    | -18.76767<br>0.010018<br>0.000005  | 206.91599<br>14.999002 | 0.361577<br>0.0001032<br>-0.0000109  | 0.015476<br>0.0001047<br>-0.0000109   | 0.0047498<br>0.0047261 |
| 2047 | JUN 23<br>p<br>0.313<br>1.37647  | 2468884.95<br>587<br>118 | 11 | 0.219007<br>0.520817<br>-0.0000113<br>-0.00000642   | 1.260927<br>-0.358582<br>0.0020398<br>0.00000081     | 23.41617<br>-0.000446<br>-0.000005 | 344.42908<br>14.999094 | 0.357225<br>-0.0001034<br>-0.0000103 | 0.011046<br>-0.0001029<br>-0.0000103  | 0.0046010<br>0.0045780 |
| 2047 | JUL 22<br>p<br>0.360<br>-1.24783 | 2468914.44<br>588<br>156 | 23 | -0.206759<br>0.5130740<br>-0.0000118<br>-0.00000484 | -1.348814<br>-0.143712<br>-0.0000480<br>0.00000235   | 20.13194<br>-0.008056<br>-0.000005 | 163.26028<br>15.000766 | 0.348866<br>-0.0001289<br>-0.0000109 | 0.003726<br>-0.0001283<br>-0.0000109  | 0.0046020<br>0.0045791 |
| 2047 | DEC 16<br>p<br>0.881<br>-1.06624 | 2469061.49<br>593<br>123 | 24 | 0.136233<br>0.5767430<br>-0.0000280<br>-0.00000955  | -1.038943<br>0.0326400<br>-0.0001706<br>-0.00000070  | -23.33401<br>-0.001700<br>0.000006 | 181.06411<br>14.996467 | 0.340360<br>0.0000389<br>-0.0000129  | -0.003536<br>-0.0000356<br>-0.0000128 | 0.0047506<br>0.0047267 |
| 2048 | JUN 11<br>p<br>0.64663           | 2469239.04<br>599<br>128 | 13 | 0.021786<br>0.5056342<br>-0.0000039<br>-0.00000567  | 0.445968<br>-0.0173729<br>-0.0001706<br>0.00000028   | 23.14490<br>0.002651<br>-0.000005  | 15.03363<br>14.999152  | 0.355666<br>-0.0000138<br>-0.0000097 | 0.017644<br>-0.0000137<br>-0.0000096  | 0.0046056<br>0.0045827 |
| 2048 | DEC 9<br>t<br>-0.39747           | 2469416.15<br>603<br>133 | 16 | 0.200330<br>0.5806540<br>-0.0000024<br>-0.00000978  | -0.401813<br>-0.0107019<br>0.0001924<br>0.00000007   | -22.49575<br>-0.004931<br>0.000006 | 62.27963<br>14.997149  | 0.338893<br>-0.0000506<br>-0.0000130 | -0.007195<br>-0.0000503<br>-0.0000130 | 0.0047445<br>0.0047209 |
| 2049 | MAY 31<br>p<br>-0.11887          | 2469593.08<br>611<br>138 | 14 | 0.003456<br>0.5135675<br>-0.0000039<br>-0.00000612  | -0.118746<br>0.0222167<br>-0.0001343<br>-0.00000018  | 22.02431<br>0.005649<br>-0.000005  | 30.54618<br>14.999739  | 0.361220<br>0.0000805<br>-0.0000101  | 0.019021<br>0.0000801<br>-0.0000100   | 0.0046123<br>0.0045894 |
| 2049 | NOV 23<br>t<br>0.29409           | 2469770.73<br>617<br>143 | 6  | 0.269237<br>0.5538807<br>0.0000181<br>-0.00000522   | 0.270328<br>-0.0514277<br>0.0001298<br>0.00000067    | -20.82803<br>-0.007901<br>0.000003 | 273.25436<br>14.998261 | 0.349031<br>-0.0001228<br>-0.0000119 | 0.002912<br>-0.0001222<br>-0.0000119  | 0.0047363<br>0.0047128 |
| 2050 | MAY 20<br>t<br>-0.86895          | 2469947.36<br>623<br>148 | 21 | 0.254886<br>0.5429641<br>-0.0000130<br>-0.00000761  | -0.843347<br>-0.0624711<br>-0.0000946<br>-0.00000080 | 20.15501<br>-0.008332<br>-0.000005 | 135.84935<br>15.000695 | 0.347403<br>0.0001108<br>-0.0000113  | 0.001273<br>-0.0001102<br>-0.0000112  | 0.0046206<br>0.0045976 |

| DATE<br>TYPE<br>GAPPA      | JDE<br>SAROS             | T0 | X0<br>X1<br>X2<br>X3                                | Y0<br>Y1<br>Y2<br>Y3                               | d0<br>d1<br>d2                     | H0<br>H1               | L10<br>L11<br>L12                    | L20<br>L21<br>L22                     | TAN #1<br>TAN #2       |
|----------------------------|--------------------------|----|---|--|------------------------------------|------------------------|--------------------------------------|---------------------------------------|------------------------|
| 2041 OCT 25<br>r 0.41315   | 2466817.57<br>517<br>134 | 2  | 0.343781<br>0.444537<br>0.000303<br>-0.0000347      | 0.252336<br>-0.2238090<br>0.000484<br>0.0000283    | -12.17840<br>-0.013774<br>0.000003 | 213.98297<br>15.002352 | 0.563843<br>-0.0000939<br>-0.0000103 | 0.019621<br>-0.0000934<br>-0.0000102  | 0.0047024<br>0.0046790 |
| 2042 APR 20<br>t 0.29341   | 2466994.60<br>523<br>139 | 2  | -0.262154<br>0.5204320<br>0.0000118<br>-0.00003861  | 0.190376<br>0.2361881<br>-0.0000819<br>-0.00000444 | 11.51744<br>0.013470<br>-0.000003  | 210.23846<br>15.003494 | 0.534676<br>0.0000961<br>-0.0000128  | -0.011391<br>0.0000358<br>-0.0000127  | 0.0046543<br>0.0046311 |
| 2042 OCT 14<br>r -0.30321  | 2467171.58<br>529<br>144 | 2  | -0.144580<br>0.4485606<br>0.0000242<br>-0.00000488  | -0.265486<br>-0.2352927<br>0.0000524<br>0.00000274 | -8.14227<br>-0.014920<br>0.000002  | 213.48388<br>15.003530 | 0.571239<br>0.0000103<br>-0.0000098  | 0.024991<br>0.0000104<br>-0.0000097   | 0.0046878<br>0.0046644 |
| 2043 APR 9<br>(t) 1.00296  | 2467349.29<br>535<br>149 | 19 | -0.447606<br>0.5136000<br>0.0000565<br>-0.00000849  | 0.897794<br>0.2697280<br>-0.0000927<br>-0.00000457 | 7.74960<br>0.014808<br>-0.000002   | 104.61305<br>15.004062 | 0.535336<br>-0.0000546<br>-0.0000128 | -0.010734<br>-0.0000544<br>-0.0000127 | 0.0046680<br>0.0046448 |
| 2043 OCT 3<br>(r) -1.01037 | 2467525.63<br>541<br>154 | 3  | -0.500434<br>0.4736216<br>0.0000183<br>-0.00000545  | -0.877871<br>-0.2503068<br>0.0000628<br>0.00000316 | -3.88200<br>-0.015498<br>0.000001  | 227.70958<br>15.004388 | 0.562582<br>0.0001013<br>-0.0000103  | 0.016377<br>0.0001008<br>-0.0000103   | 0.0046723<br>0.0046490 |
| 2044 FEB 28<br>r -0.09555  | 2467674.35<br>546<br>121 | 20 | 0.269887<br>0.4736216<br>-0.0000194<br>-0.00000618  | -0.983169<br>0.2497133<br>0.0000944<br>-0.00000342 | -7.84235<br>0.015170<br>0.000001   | 116.87564<br>15.003101 | 0.537914<br>-0.0001132<br>-0.0000110 | 0.011731<br>-0.0001127<br>-0.0000110  | 0.0047509<br>0.0046574 |
| 2044 AUG 23<br>t 0.96114   | 2467850.55<br>552<br>126 | 1  | 0.279569<br>0.5107779<br>-0.0000610<br>-0.00000797  | 0.933625<br>-0.2312821<br>0.0001094<br>0.00000413  | 11.26404<br>-0.013582<br>-0.000002 | 194.34898<br>15.004007 | 0.537683<br>0.0001028<br>-0.0000122  | -0.008399<br>0.0001023<br>-0.0000122  | 0.0046522<br>0.0046001 |
| 2045 FEB 16<br>r -0.31272  | 2468028.50<br>558<br>131 | 24 | 0.167285<br>0.4552353<br>-0.0000294<br>-0.00000312  | -0.266285<br>0.2235577<br>0.0000784<br>-0.00000288 | -11.91637<br>0.014066<br>0.000003  | 176.51630<br>15.001897 | 0.571769<br>-0.0000526<br>-0.0000100 | 0.023517<br>-0.0000623<br>-0.0000100  | 0.0047332<br>0.0047096 |
| 2045 AUG 12<br>t 0.21145   | 2468205.24<br>564<br>136 | 18 | 0.240734<br>0.5232199<br>-0.0000333<br>-0.00000902  | 0.123877<br>-0.2388144<br>-0.0000944<br>0.00000423 | 14.47394<br>-0.012107<br>-0.000003 | 88.76048<br>15.003169  | 0.530936<br>-0.0000329<br>-0.0000129 | -0.015112<br>-0.0000029<br>-0.0000128 | 0.0046137<br>0.0045908 |
| 2046 FEB 5<br>r 0.37636    | 2468382.46<br>570<br>141 | 23 | -0.199464<br>0.4641092<br>-0.0000371<br>-0.00000316 | 0.232721<br>0.2013055<br>0.0000738<br>-0.00000240  | -15.44727<br>0.012328<br>0.000004  | 161.51135<br>15.000455 | 0.573355<br>0.0000456<br>-0.0000100  | 0.027095<br>0.0000454<br>-0.0000399   | 0.0047432<br>0.0047195 |

| DATE<br>TYPE<br>GAMMA              | JDE<br>K<br>BAROS        | To | X0<br>X1<br>X2<br>X3                                | Y0<br>Y1<br>Y2<br>Y3                                | d0<br>d1<br>d2                     | M0<br>M1               | L10<br>L11<br>L12                    | L20<br>L21<br>L22                     | TAN f1<br>TAN f2       |
|------------------------------------|--------------------------|----|---|---|------------------------------------|------------------------|--------------------------------------|---------------------------------------|------------------------|
| 2037 JAN 16<br>P 0.703<br>1.14755  | 2465074.91<br>438<br>122 | 10 | -0.013317<br>0.5071026<br>-0.0003215<br>-0.0000383  | 1.151325<br>0.017826<br>0.0001815<br>-0.00000046    | -20.83011<br>0.007769<br>0.000006  | 327.55046<br>14.997832 | 0.572075<br>0.0000533<br>-0.0000101  | 0.025822<br>0.000430<br>-0.0000101    | 0.0047540<br>0.0047303 |
| 2037 JUL 13<br>t<br>-0.72476       | 2465292.61<br>464<br>127 | 3  | 0.141375<br>0.5639976<br>0.0000001<br>-0.00000859   | -0.0318218<br>-0.0001131<br>0.0000041               | 21.78243<br>-0.000946<br>-0.000009 | 223.55013<br>13.000224 | 0.538374<br>-0.0001101<br>-0.0000120 | -0.007709<br>-0.0001096<br>-0.0000119 | 0.0045993<br>0.0045764 |
| 2038 JAN 3<br>r 0.41672            | 2465429.07<br>470<br>132 | 14 | 0.109029<br>0.5385409<br>-0.0000249<br>-0.00000726  | 0.418379<br>0.0079933<br>0.0001379<br>-0.00000001   | -22.55481<br>0.004812<br>0.000006  | 28.64308<br>14.996813  | 0.559156<br>0.0001145<br>-0.0000112  | 0.011972<br>0.0001729<br>-0.0000112   | 0.0047554<br>0.0047317 |
| 2038 JUL 2<br>r 0.03958            | 2465607.06<br>476<br>137 | 14 | 0.239278<br>0.5315409<br>0.0000100<br>-0.00000688   | 0.043987<br>0.0097112<br>0.0001544<br>-0.00000023   | 22.99407<br>-0.000340<br>-0.000005 | 28.96240<br>14.999420  | 0.553129<br>-0.0001226<br>-0.0000106 | 0.006970<br>-0.0001220<br>-0.0000106  | 0.0049993<br>0.0045764 |
| 2038 DEC 26<br>t<br>-0.28830       | 2465783.54<br>482<br>142 | 1  | -0.020368<br>0.5678562<br>-0.0000002<br>-0.00000912 | -0.287568<br>-0.0377711<br>0.0001915<br>0.00000073  | -23.36258<br>0.001481<br>0.000006  | 194.92213<br>14.996374 | 0.543500<br>0.0000847<br>-0.0000126  | -0.002610<br>0.0000863<br>-0.0000126  | 0.0047537<br>0.0047300 |
| 2039 JUN 21<br>r 0.83100           | 2465961.22<br>488<br>147 | 17 | -0.189513<br>0.5028593<br>0.0000276<br>-0.00000374  | 0.816420<br>0.0499414<br>-0.0001800<br>-0.00000067  | 23.43238<br>-0.000178<br>-0.000006 | 74.53582<br>14.999039  | 0.564319<br>-0.0000388<br>-0.0000098 | 0.018304<br>-0.0000386<br>-0.0000097  | 0.0046017<br>0.0043788 |
| 2039 DEC 19<br>t<br>-0.94594       | 2466138.18<br>494<br>152 | 16 | -0.365886<br>0.5767257<br>0.0000473<br>-0.00000981  | -0.902298<br>-0.0849487<br>0.0002295<br>0.00000160  | -23.27405<br>-0.001862<br>0.000006 | 61.22590<br>14.996522  | 0.538200<br>-0.0000004<br>-0.0000131 | -0.007885<br>-0.0000004<br>-0.0000131 | 0.0047499<br>0.0047262 |
| 2040 MAY 11<br>P 0.530<br>-1.25307 | 2466285.65<br>499<br>119 | 4  | 0.582132<br>0.4874042<br>0.0000021<br>-0.00000389   | -1.119424<br>0.1847583<br>-0.0000401<br>0.00000240  | 18.02785<br>0.010135<br>-0.000004  | 240.90550<br>15.001449 | 0.599534<br>0.0000889<br>-0.0000103  | 0.013344<br>0.0000884<br>-0.0000103   | 0.0046299<br>0.0046068 |
| 2040 NOV 4<br>P 0.808<br>1.09911   | 2466463.30<br>505<br>124 | 19 | 0.397498<br>0.5059314<br>0.0000396<br>-0.00000708   | 1.042610<br>-0.2161342<br>0.0000399<br>0.00000320   | -15.73230<br>-0.012100<br>0.000004 | 109.10988<br>15.009983 | 0.581809<br>-0.0001136<br>-0.0000116 | 0.005359<br>-0.0001130<br>-0.0000115  | 0.0047155<br>0.0046920 |
| 2041 APR 30<br>t<br>-0.44937       | 2466639.99<br>511<br>129 | 12 | 0.246590<br>0.5066721<br>0.0000112<br>-0.00000751   | -0.382274<br>0.2542315<br>-0.0000740<br>-0.00000342 | 14.97447<br>0.012128<br>-0.000003  | 0.70737<br>15.002539   | 0.543200<br>0.0001104<br>-0.0000116  | -0.000919<br>0.0001099<br>-0.0000116  | 0.0046415<br>0.0046184 |

| DATE<br>TYPE<br>DATA               | JDE<br>k<br>BARDS        | To | X0<br>X1<br>X2<br>X3                                | Y0<br>Y1<br>Y2<br>Y3                                | d0<br>d1<br>d2                     | M0<br>M1               | L10<br>L11<br>L12                    | L20<br>L21<br>L22                     | TAN #1<br>TAN #2       |
|------------------------------------|--------------------------|----|---|---|------------------------------------|------------------------|--------------------------------------|---------------------------------------|------------------------|
| 2032 NOV 3<br>p 0.856<br>1.06414   | 2463339.73<br>406<br>153 | 6  | 0.449264<br>0.5120193<br>0.000170<br>-0.0000639     | 0.990645<br>-0.1128683<br>0.000452<br>0.0000123     | -15.23992<br>-0.012623<br>0.000003 | 274.11911<br>15.001230 | 0.362398<br>-0.0001127<br>-0.0000106 | 0.016392<br>-0.0001121<br>-0.0000106  | 0.0047141<br>0.0046906 |
| 2033 MAR 30<br>t 0.97760           | 2463687.25<br>411<br>120 | 18 | -0.318696<br>0.554245<br>0.000327<br>-0.0000942     | 0.924338<br>0.175610<br>-0.000801<br>-0.0000289     | 4.09368<br>0.015719<br>-0.000001   | 88.92808<br>15.004435  | 0.534936<br>0.0000276<br>-0.0000129  | -0.011132<br>0.0000275<br>-0.0000129  | 0.0046807<br>0.0046574 |
| 2033 SEP 23<br>p 0.689<br>-1.13848 | 2463864.08<br>417<br>125 | 14 | -0.309991<br>0.4813448<br>0.0000087<br>-0.00000341  | -1.117197<br>-0.1543441<br>0.0000478<br>0.0000167   | -0.33982<br>-0.015845<br>-0.000000 | 31.94246<br>15.004805  | 0.568890<br>0.0000318<br>-0.0000098  | 0.022653<br>0.0000316<br>-0.0000097   | 0.0046607<br>0.0046375 |
| 2034 MAR 20<br>t 0.28925           | 2464041.93<br>423<br>130 | 10 | -0.259482<br>0.3481629<br>0.0000234<br>-0.00000897  | 0.920626<br>0.175770<br>-0.000030<br>-0.00000279    | -0.08513<br>0.016042<br>-0.000000  | 328.13912<br>15.004401 | 0.538624<br>-0.0000645<br>-0.0000127 | -0.007462<br>-0.0000642<br>-0.0000126 | 0.0046952<br>0.0046718 |
| 2034 SEP 12<br>r -0.39374          | 2464218.18<br>429<br>135 | 16 | -0.280894<br>0.5028341<br>-0.0000107<br>-0.00000635 | -0.324522<br>-0.1377845<br>0.0000008<br>0.00000192  | 3.97191<br>-0.015534<br>-0.000001  | 60.94970<br>15.004904  | 0.537794<br>0.0001188<br>-0.0000106  | 0.011612<br>0.0001182<br>-0.0000105   | 0.0046461<br>0.0046230 |
| 2035 MAR 9<br>r -0.43696           | 2464396.46<br>435<br>140 | 23 | 0.079434<br>0.5203739<br>0.0000050<br>-0.00000728   | -0.425960<br>0.1630944<br>0.0000532<br>-0.00000219  | -4.27334<br>0.015920<br>0.000031   | 162.39614<br>15.003903 | 0.532616<br>-0.0001219<br>-0.0000114 | 0.004440<br>-0.0001213<br>-0.0000114  | 0.0047095<br>0.0046861 |
| 2035 SEP 2<br>t 0.37255            | 2464572.58<br>441<br>145 | 2  | 0.134306<br>0.5377725<br>-0.0000360<br>-0.00000812  | 0.348813<br>-0.158431<br>-0.0000592<br>0.00000232   | 8.01771<br>-0.014753<br>-0.000002  | 210.02999<br>15.004641 | 0.541913<br>0.0001103<br>-0.0000119  | -0.004190<br>0.0001098<br>-0.0000118  | 0.0046328<br>0.0046097 |
| 2036 FEB 27<br>p 0.628<br>-1.19438 | 2464750.70<br>447<br>150 | 5  | 0.444193<br>0.4834011<br>-0.0000201<br>-0.00000582  | -1.114451<br>0.145463<br>0.0000997<br>-0.0000163    | -8.49969<br>0.015281<br>0.000002   | 251.80841<br>15.002997 | 0.548189<br>-0.0000906<br>-0.0000102 | 0.021952<br>-0.0000901<br>-0.0000102  | 0.0047231<br>0.0046995 |
| 2036 JUL 23<br>p 0.199<br>-1.42519 | 2464897.94<br>452<br>117 | 11 | 0.090079<br>0.5788220<br>-0.0000180<br>-0.00000985  | -1.448004<br>-0.0733682<br>-0.0000547<br>0.00000116 | 19.89421<br>-0.008837<br>-0.000025 | 343.36191<br>15.001242 | 0.530428<br>-0.0000304<br>-0.0000128 | -0.015617<br>-0.0000304<br>-0.0000127 | 0.0046019<br>0.0045789 |
| 2036 AUG 21<br>p 0.863<br>1.08229  | 2464927.23<br>453<br>159 | 17 | 0.034484<br>0.5632887<br>-0.0000280<br>-0.00000955  | 1.110188<br>-0.1496972<br>-0.0001354<br>0.00000246  | 11.74119<br>-0.013646<br>-0.000002 | 74.25918<br>15.004027  | 0.531901<br>0.0000445<br>-0.0000128  | -0.014151<br>0.0000443<br>-0.0000127  | 0.0046217<br>0.0045987 |

| DATE<br>TYPE<br>GAPFA                 | JDE<br>K<br>BARIS        | Ta | X0<br>X1<br>X2<br>X3                                | Y0<br>Y1<br>Y2<br>Y3                                 | d0<br>d1<br>d2                                  | M0<br>M1               | L10<br>L11<br>L12                    | L20<br>L21<br>L22                     | TAN #1<br>TAN #2       |
|---------------------------------------|--------------------------|----|---|--|---|------------------------|--------------------------------------|---------------------------------------|------------------------|
| 2028 JUL 22<br>S<br>-0.60374          | 2461974.62<br>353<br>146 | 3  | -0.134372<br>0.5449892<br>-0.0000214<br>-0.00000869 | -0.556615<br>-0.1746085<br>-0.001021<br>0.0000296    | 20.18231<br>-0.007974<br>-0.000003              | 223.37848<br>15.001017 | 0.335230<br>-0.0000859<br>-0.0000123 | -0.010840<br>-0.0000894<br>-0.0000122 | 0.0046016<br>0.0045786 |
| 2029 JAN 14<br>P<br>0.872<br>1.09514  | 2462151.22<br>389<br>151 | 17 | -0.407342<br>0.5081526<br>-0.0000393<br>-0.0000646  | 0.980897<br>0.1435283<br>0.0000921<br>-0.0000199     | -21.16301<br>0.000006<br>0.000006               | 72.49289<br>14.997631  | 0.362639<br>0.0001189<br>-0.0000109  | 0.014453<br>0.0001183<br>-0.0000108   | 0.0047541<br>0.0047304 |
| 2029 JUN 12<br>P<br>0.438<br>1.29415  | 2462299.67<br>364<br>118 | 4  | -0.010718<br>0.5247607<br>0.0000104<br>-0.00000634  | 1.293241<br>-0.0176366<br>-0.0000037<br>0.00000029   | 23.19932<br>0.00291<br>-0.000005<br>0.00000029  | 240.03599<br>14.999199 | 0.356535<br>0.0001027<br>-0.0000104  | 0.010479<br>0.0001022<br>-0.0000103   | 0.0046048<br>0.0045819 |
| 2029 JUL 11<br>P<br>0.230<br>-1.41926 | 2462329.15<br>343<br>156 | 16 | -0.137300<br>0.5252633<br>-0.0000096<br>-0.00000710 | -1.427335<br>-0.1280417<br>-0.0000769<br>0.000000189 | 22.00245<br>-0.005453<br>-0.000005<br>-0.000005 | 56.60287<br>15.000006  | 0.348749<br>-0.0001269<br>-0.0000110 | 0.002612<br>-0.0001263<br>-0.0000109  | 0.0045994<br>0.0045765 |
| 2029 DEC 9<br>P<br>0.891<br>-1.06108  | 2462476.13<br>370<br>123 | 15 | -0.063772<br>0.5766353<br>-0.0000027<br>-0.00000951 | -1.059848<br>-0.0140165<br>0.0002295<br>0.00000011   | -22.44545<br>-0.005034<br>0.000004<br>0.000004  | 47.30985<br>14.997172  | 0.340635<br>0.0000699<br>-0.0000128  | -0.003462<br>0.0000695<br>-0.0000128  | 0.0047446<br>0.0047209 |
| 2030 JUN 1<br>P<br>0.56248            | 2462553.77<br>376<br>128 | 6  | -0.269293<br>0.5056371<br>0.0000182<br>-0.00000568  | 0.551812<br>0.0210150<br>-0.0001386<br>-0.00000016   | 22.06130<br>0.005501<br>-0.000005               | 270.53983<br>14.999701 | 0.564143<br>-0.0000130<br>-0.0000097 | 0.018919<br>-0.0000129<br>-0.0000097  | 0.0044130<br>0.0045890 |
| 2030 NOV 25<br>S<br>-0.38687          | 2462830.79<br>382<br>133 | 7  | 0.044200<br>0.5787799<br>0.0000177<br>-0.00000978   | -0.392846<br>-0.0551891<br>0.0001744<br>0.00000053   | -20.76100<br>-0.007989<br>0.000005              | 288.27459<br>14.998361 | 0.538204<br>-0.0000379<br>-0.0000130 | -0.007878<br>-0.0000377<br>-0.0000130 | 0.0047361<br>0.0047125 |
| 2031 MAY 21<br>P<br>-0.19716          | 2463007.80<br>388<br>138 | 7  | -0.114671<br>0.5112592<br>0.0000075<br>-0.00000803  | -0.211405<br>0.0379239<br>-0.0001182<br>-0.00000061  | 20.15913<br>-0.008339<br>-0.000003              | 285.85114<br>15.000620 | 0.543398<br>0.0000806<br>-0.0000100  | 0.016193<br>0.0000802<br>-0.0000100   | 0.0046208<br>0.0045978 |
| 2031 NOV 14<br>P<br>0.30759           | 2463185.38<br>394<br>143 | 21 | -0.019831<br>0.5509441<br>0.0000366<br>-0.00000824  | 0.314783<br>-0.0870652<br>0.0001046<br>0.00000124    | -18.23481<br>-0.010354<br>0.000004              | 138.89398<br>14.999763 | 0.547767<br>-0.0001068<br>-0.0000120 | 0.001625<br>-0.0001063<br>-0.0000119  | 0.0047260<br>0.0047025 |
| 2032 MAY 9<br>P<br>-0.93766           | 2463362.06<br>400<br>148 | 13 | -0.074232<br>0.5359545<br>0.0000032<br>-0.00000744  | -0.965601<br>0.0954058<br>-0.0000702<br>-0.00000125  | 17.57291<br>0.010654<br>-0.000004               | 15.88910<br>15.001738  | 0.548846<br>0.0001272<br>-0.0000112  | 0.002709<br>0.0001263<br>-0.0000112   | 0.0046310<br>0.0046079 |

| DATE<br>TYPE<br>GAYMA        | JDE<br>k<br>SARDS        | To | X0<br>X1<br>X2<br>X3                                | Y0<br>Y1<br>Y2<br>Y3                               | 40<br>41<br>42                     | M0<br>M1               | L10<br>L11<br>L12                    | L20<br>L21<br>L22                     | TAN #1<br>TAN #2       |
|------------------------------|--------------------------|----|---|--|------------------------------------|------------------------|--------------------------------------|---------------------------------------|------------------------|
| 2023 OCT 14<br>P<br>0.37517  | 2460232.25<br>294<br>134 | 18 | 0.169643<br>0.4585533<br>0.0000278<br>-0.00000543   | 0.334674<br>-0.2413671<br>0.0000240<br>0.00000303  | -8.21419<br>-0.014898<br>0.000002  | 93.50173<br>15.003530  | 0.364304<br>-0.0000891<br>-0.0000103 | 0.018090<br>-0.0000886<br>-0.0000103  | 0.0046882<br>0.0046648 |
| 2024 APR 8<br>t<br>0.34296   | 2460409.26<br>300<br>137 | 18 | -0.318120<br>0.5117116<br>0.0000326<br>-0.00000842  | 0.217627<br>0.2709389<br>-0.0000395<br>-0.00000466 | 7.58620<br>0.014844<br>-0.000002   | 89.59122<br>15.004063  | 0.335807<br>0.0000618<br>-0.0000128  | -0.010265<br>0.0000619<br>-0.0000127  | 0.0046683<br>0.0046430 |
| 2024 OCT 2<br>P<br>-0.35104  | 2460584.28<br>306<br>144 | 19 | -0.049045<br>0.4416171<br>0.0000136<br>-0.00000483  | -0.363355<br>-0.2433631<br>0.0000339<br>0.00000284 | -3.98725<br>-0.013511<br>0.000001  | 107.73109<br>15.004332 | 0.370342<br>-0.0000002<br>-0.0000098 | 0.024098<br>-0.0000002<br>-0.0000097  | 0.0046734<br>0.0046501 |
| 2025 MAR 29<br>P<br>1.04035  | 2460763.95<br>312<br>149 | 11 | -0.402741<br>0.5094122<br>0.0000415<br>-0.00000845  | 0.968561<br>0.2788348<br>-0.0000723<br>-0.00000845 | 3.56602<br>0.013539<br>-0.000001   | 343.83165<br>15.004367 | 0.535759<br>-0.0000533<br>-0.0000129 | -0.010313<br>-0.0000530<br>-0.0000129 | 0.0046823<br>0.0046590 |
| 2025 SEP 21<br>P<br>-1.06325 | 2460940.32<br>318<br>154 | 20 | -0.390087<br>0.4531392<br>0.0000031<br>-0.00000538  | -1.002020<br>-0.3521633<br>0.0000436<br>0.00000315 | 0.36472<br>-0.013600<br>-0.000000  | 121.78192<br>15.004772 | 0.562485<br>0.0000909<br>-0.0000103  | 0.016380<br>0.0000905<br>-0.0000102   | 0.0046583<br>0.0046351 |
| 2026 FEB 17<br>P<br>-0.97445 | 2461089.01<br>323<br>121 | 12 | 0.322075<br>0.4827224<br>-0.0000314<br>-0.00000637  | -0.927112<br>0.2353394<br>0.0001169<br>-0.00000327 | -11.87930<br>0.014049<br>0.000002  | 356.51441<br>15.001984 | 0.557713<br>-0.0001181<br>-0.0000111 | 0.011531<br>-0.0001175<br>-0.0000111  | 0.0047321<br>0.0047085 |
| 2026 AUG 12<br>t<br>0.89757  | 2461245.24<br>329<br>126 | 18 | 0.475322<br>0.5189249<br>-0.0000773<br>-0.00000804  | 0.770993<br>-0.3301480<br>-0.0001244<br>0.00000377 | 14.79467<br>-0.012045<br>-0.000003 | 68.74779<br>15.003090  | 0.537948<br>0.0000939<br>-0.0000121  | -0.008135<br>0.0000935<br>-0.0000121  | 0.0046141<br>0.0045911 |
| 2027 FEB 6<br>P<br>-0.29533  | 2461443.17<br>333<br>131 | 16 | 0.111788<br>0.4664952<br>-0.0000337<br>-0.00000327  | -0.273441<br>0.2031856<br>0.0001023<br>-0.00000346 | -15.54794<br>0.012383<br>0.000004  | 56.45207<br>15.000509  | 0.571921<br>-0.0000653<br>-0.0000101 | 0.025669<br>-0.0000650<br>-0.0000100  | 0.0047426<br>0.0047190 |
| 2027 AUG 2<br>t<br>0.14192   | 2461619.92<br>341<br>136 | 10 | -0.019750<br>0.5447123<br>-0.0000446<br>-0.00000923 | 0.159870<br>-0.2111583<br>-0.0001217<br>0.00000376 | 17.76247<br>-0.010181<br>-0.000004 | 328.42254<br>15.002096 | 0.330589<br>0.0000138<br>-0.0000138  | -0.019457<br>0.0000137<br>-0.0000128  | 0.0046064<br>0.0045834 |
| 2028 JAN 26<br>P<br>0.38997  | 2461797.13<br>347<br>141 | 15 | -0.205177<br>0.4742570<br>-0.0000390<br>-0.00000527 | 0.340126<br>0.1738357<br>0.0000968<br>-0.00000509  | -18.72825<br>0.010074<br>0.000003  | 41.89129<br>14.998563  | 0.374110<br>0.0000420<br>-0.0000059  | 0.027847<br>0.0000418<br>-0.0000059   | 0.0047501<br>0.0047254 |

| DATE<br>TYPE<br>OAPPA              | JUE<br>k<br>SARDS        | To | X0<br>X1<br>X2<br>X3                                | Y0<br>Y1<br>Y2<br>Y3                                | d0<br>d1<br>d2                                  | M0<br>M1               | L10<br>L11<br>L12                    | L20<br>L21<br>L22                     | TAN f1<br>TAN f2       |
|------------------------------------|--------------------------|----|---|---|---|------------------------|--------------------------------------|---------------------------------------|------------------------|
| 2019 JAN 6<br>P 0.715<br>1.14188   | 2458489.57<br>235<br>122 | 2  | 0.128437<br>0.5082384<br>-0.0000162<br>-0.00000581  | 1.143833<br>0.0084226<br>0.0001036<br>-0.00000000   | -22.54492<br>0.004848<br>0.000006               | 208.61530<br>14.996737 | 0.572695<br>0.0000579<br>-0.0000101  | 0.026439<br>0.0000572<br>-0.0000100   | 0.0047562<br>0.0047325 |
| 2019 JUL 2<br>t<br>-0.64674        | 2458667.31<br>241<br>127 | 19 | -0.213599<br>0.5662087<br>0.0000274<br>-0.00000879  | -0.630886<br>0.0106399<br>-0.0001272<br>-0.00000027 | 23.01295<br>-0.003187<br>-0.000005<br>-0.000000 | 103.97973<br>14.999505 | 0.537624<br>-0.0000898<br>-0.0000120 | -0.008457<br>-0.0000894<br>-0.0000120 | 0.0045984<br>0.0045785 |
| 2019 DEC 26<br>r 0.41334           | 2458843.72<br>247<br>132 | 5  | -0.140328<br>0.5356103<br>-0.0000015<br>-0.00000714 | 0.423900<br>-0.0366531<br>0.0001438<br>0.00000061   | -23.37347<br>0.001407<br>0.000006               | 254.93677<br>14.996370 | 0.558880<br>-0.0000112<br>-0.0000111 | 0.012693<br>0.0001277<br>-0.0000111   | 0.0047548<br>0.0047311 |
| 2020 JUN 21<br>r 0.12073           | 2459021.78<br>283<br>137 | 7  | 0.154306<br>0.5311846<br>0.0000239<br>-0.00000644   | 0.136234<br>0.0513871<br>-0.0001610<br>-0.00000079  | 23.43567<br>-0.000223<br>-0.000006              | 284.52553<br>14.999110 | 0.552311<br>-0.0001223<br>-0.0000107 | 0.006157<br>-0.0001217<br>-0.0000107  | 0.0046009<br>0.0045780 |
| 2020 DEC 14<br>t<br>-0.29411       | 2459198.18<br>239<br>142 | 16 | -0.181780<br>0.5635567<br>0.0000218<br>-0.00000895  | -0.268825<br>-0.0858122<br>0.0001884<br>0.00000150  | -23.23776<br>-0.001986<br>0.000006              | 61.26291<br>14.996497  | 0.543855<br>0.0000970<br>-0.0000126  | -0.002328<br>0.0000965<br>-0.0000125  | 0.0047502<br>0.0047266 |
| 2021 JUN 10<br>r 0.91498           | 2459375.95<br>245<br>147 | 11 | -0.018644<br>0.5012289<br>0.0000343<br>-0.00000371  | 0.928925<br>0.0887765<br>-0.0011797<br>-0.00000113  | 23.04329<br>0.002841<br>-0.000005               | 345.13492<br>14.999199 | 0.544373<br>-0.0000351<br>-0.0000098 | 0.018158<br>-0.0003248<br>-0.0000097  | 0.0046060<br>0.0045830 |
| 2021 DEC 4<br>t<br>-0.95278        | 2459532.82<br>271<br>152 | 8  | 0.025243<br>0.5683028<br>0.0000391<br>-0.00000966   | -0.983838<br>-0.1315142<br>0.0002213<br>0.00000240  | -22.27472<br>-0.003178<br>0.000006              | 302.45219<br>14.997279 | 0.537798<br>-0.0000160<br>-0.0000131 | -0.008285<br>-0.0000160<br>-0.0000131 | 0.0047434<br>0.0047198 |
| 2022 APR 30<br>p 0.639<br>-1.19027 | 2459700.36<br>276<br>119 | 21 | 0.618182<br>0.4753146<br>-0.0000015<br>-0.00000368  | -1.028239<br>0.2096403<br>-0.0000432<br>-0.00000268 | 14.97104<br>0.012167<br>-0.000003               | 135.70560<br>15.002468 | 0.561066<br>0.0000847<br>-0.0000103  | 0.014868<br>0.0000843<br>-0.0000102   | 0.0046420<br>0.0046189 |
| 2022 OCT 25<br>p 0.862<br>1.06997  | 2459877.96<br>282<br>124 | 11 | 0.454784<br>0.4955496<br>0.0000277<br>-0.00000703   | 0.768586<br>-0.2395876<br>0.0000167<br>0.00000336   | -12.17348<br>-0.013746<br>0.000003              | 348.98228<br>15.002430 | 0.549572<br>-0.0001152<br>-0.0000116 | 0.003730<br>-0.0001146<br>-0.0000116  | 0.0047019<br>0.0046785 |
| 2023 APR 20<br>t<br>-0.39533       | 2460054.68<br>288<br>129 | 4  | 0.026965<br>0.4950181<br>0.0000135<br>-0.00000706   | -0.427309<br>0.2441992<br>-0.0000494<br>-0.00000368 | 11.41179<br>0.013741<br>-0.000003               | 240.24293<br>15.003418 | 0.546797<br>0.0001216<br>-0.0000116  | 0.000670<br>0.0001210<br>-0.0000115   | 0.0046530<br>0.0046318 |

| DATE<br>TYPE<br>QNTA                  | JDE<br>K<br>SARDS        | To | X0<br>X1<br>X2<br>X3                                | Y0<br>Y1<br>Y2<br>Y3                                | d0<br>d1<br>d2                     | M0<br>M1               | L10<br>L11<br>L12                    | L20<br>L21<br>L22                     | TAN #1<br>TAN #2       |
|---------------------------------------|--------------------------|----|---|---|------------------------------------|------------------------|--------------------------------------|---------------------------------------|------------------------|
| 2014 OCT 23<br>P<br>0.812<br>1.09061  | 2456994.41<br>183<br>153 | 22 | 0.402309<br>0.3584899<br>0.0000140<br>-0.00000641   | 1.021402<br>-0.135327<br>0.000180<br>0.0000163      | -11.41852<br>-0.014199<br>0.000002 | 133.93079<br>15.002631 | 0.560990<br>-0.0001108<br>-0.0000106 | 0.014792<br>-0.000103<br>-0.0000106   | 0.0047006<br>0.0046771 |
| 2015 MAR 20<br>t<br>0.94520           | 2457101.91<br>188<br>120 | 10 | -0.168187<br>0.3537415<br>0.0000089<br>-0.00000736  | 0.938910<br>0.1786482<br>-0.0000541<br>-0.00000293  | -0.21266<br>0.016036<br>-0.000000  | 328.10677<br>15.004415 | 0.539925<br>0.0000265<br>-0.0000130  | -0.010148<br>0.0000264<br>-0.0000129  | 0.0046950<br>0.0046717 |
| 2015 SEP 13<br>P<br>0.787<br>-1.10037 | 2457278.79<br>194<br>125 | 7  | -0.292928<br>0.4821419<br>0.0000017<br>-0.00000540  | -1.061605<br>-0.1318183<br>0.0000226<br>0.00000164  | 3.89024<br>-0.013364<br>-0.000001  | 285.97655<br>15.004850 | 0.568256<br>0.0000258<br>-0.0000098  | 0.022032<br>0.0000357<br>-0.0000097   | 0.0046473<br>0.0046242 |
| 2016 MAR 9<br>t<br>0.26076            | 2457456.98<br>200<br>130 | 2  | -0.062417<br>0.3502769<br>0.0000047<br>-0.00000904  | 0.253690<br>0.1721233<br>0.0001171<br>-0.00000275   | -4.37971<br>0.015866<br>0.000001   | 207.37216<br>15.003971 | 0.538861<br>-0.0000704<br>-0.0000128 | -0.007227<br>0.0000700<br>-0.0000127  | 0.0047087<br>0.0046852 |
| 2016 SEP 1<br>r<br>-0.32318           | 2457632.88<br>206<br>135 | 9  | -0.161424<br>0.3040635<br>-0.0000214<br>-0.00000631 | -0.299828<br>-0.1481521<br>0.0000238<br>0.00000178  | 8.06230<br>-0.014802<br>-0.000002  | 313.03156<br>15.004545 | 0.537921<br>0.0001115<br>-0.0000105  | 0.011738<br>0.0001110<br>-0.0000104   | 0.0046339<br>0.0046109 |
| 2017 FEB 26<br>F<br>-0.43797          | 2457811.12<br>212<br>140 | 15 | 0.176046<br>0.3233564<br>-0.0000062<br>-0.00000742  | -0.423708<br>0.1532841<br>0.0000792<br>-0.00000208  | -8.49144<br>0.015361<br>0.000002   | 41.79894<br>15.003086  | 0.532463<br>-0.0001257<br>-0.0000115 | 0.004308<br>-0.0001251<br>-0.0000115  | 0.0047219<br>0.0046984 |
| 2017 AUG 21<br>t<br>0.43653           | 2457987.27<br>218<br>145 | 18 | -0.129583<br>0.3408426<br>-0.0000294<br>-0.00000810 | 0.485234<br>-0.124400<br>-0.0000905<br>0.00000203   | 11.84696<br>-0.012422<br>-0.000002 | 89.24543<br>15.003938  | 0.542086<br>0.0001241<br>-0.0000118  | -0.004018<br>0.0001234<br>-0.0000117  | 0.0046222<br>0.0045992 |
| 2018 FEB 13<br>P<br>0.599<br>-1.21180 | 2458163.37<br>224<br>150 | 21 | 0.363719<br>0.4990523<br>-0.0000212<br>-0.00000593  | -1.157700<br>0.1283237<br>0.0001268<br>0.00000144   | -12.46404<br>0.014580<br>0.000003  | 131.48074<br>15.001823 | 0.548250<br>-0.0000923<br>-0.0000103 | 0.022016<br>-0.0000918<br>-0.0000102  | 0.0047340<br>0.0047104 |
| 2018 JUL 13<br>F<br>0.336<br>-1.39441 | 2458312.63<br>229<br>117 | 3  | -0.099246<br>0.3828146<br>-0.0000013<br>-0.00000953 | -1.350949<br>-0.0332934<br>-0.0000770<br>0.00000047 | 21.84531<br>-0.005937<br>-0.000005 | 223.37078<br>15.000241 | 0.530141<br>-0.0000118<br>-0.0000128 | -0.013883<br>-0.0000118<br>-0.0000127 | 0.0045988<br>0.0045759 |
| 2018 AUG 11<br>P<br>0.737<br>1.14740  | 2458341.91<br>230<br>155 | 10 | 0.367502<br>0.4684959<br>-0.0000477<br>-0.00000941  | 1.093737<br>-0.1242935<br>-0.0001988<br>0.00000206  | 15.21673<br>-0.012074<br>-0.000003 | 328.59612<br>15.003079 | 0.531691<br>0.0000338<br>-0.0000128  | -0.014361<br>0.0000336<br>-0.0000127  | 0.0046127<br>0.0045897 |



| DATE<br>TYPE<br>GAMMA                 | JDE<br>#<br>SARIS        | T <sub>0</sub> | X0<br>X1<br>X2<br>X3                                | Y0<br>Y1<br>Y2<br>Y3                                | 40<br>41<br>42                     | M0<br>M1               | L10<br>L11<br>L12                    | L20<br>L21<br>L22                     | TAN #1<br>TAN #2       |
|---------------------------------------|--------------------------|----------------|---|---|------------------------------------|------------------------|--------------------------------------|---------------------------------------|------------------------|
| 2010 JUL 11<br>t<br>-0.67894          | 2455389.32<br>130<br>146 | 20             | 0.074072<br>0.5572815<br>-0.0000376<br>-0.00000698  | -0.717205<br>-0.1364379<br>0.0001121<br>0.0000236   | 22.03570<br>-0.00341<br>-0.000003  | 118.61432<br>13.000067 | 0.534416<br>-0.0000908<br>-0.0000124 | -0.011450<br>-0.0000906<br>-0.0000123 | 0.0045988<br>0.0045799 |
| 2011 JAN 4<br>p<br>0.898<br>1.06248   | 2455565.87<br>135<br>151 | 9              | -0.140585<br>0.5162761<br>-0.0000418<br>-0.00000651 | 1.055451<br>0.1051388<br>0.0001064<br>-0.0000145    | -22.74122<br>0.004042<br>0.000006  | 313.81118<br>14.996632 | 0.563485<br>0.0001098<br>-0.0000108  | 0.017374<br>0.0001092<br>-0.0000107   | 0.0047597<br>0.0047320 |
| 2011 JUN 1<br>p<br>0.601<br>1.21284   | 2455714.39<br>141<br>118 | 21             | -0.202603<br>0.5262744<br>0.0000297<br>-0.00000662  | 1.203388<br>0.0221939<br>-0.0001931<br>-0.00000022  | 22.09197<br>0.005520<br>-0.000003  | 135.53766<br>14.999744 | 0.556207<br>-0.0001024<br>-0.0000105 | 0.010034<br>-0.0001020<br>-0.0000104  | 0.0046112<br>0.0045882 |
| 2011 JUL 1<br>p<br>0.097<br>-1.49189  | 2455743.86<br>142<br>156 | 9              | -0.099284<br>0.5355113<br>-0.0000039<br>-0.00000733 | -1.502311<br>-0.0881830<br>-0.0000833<br>0.00000136 | 23.12098<br>-0.002540<br>-0.000006 | 314.05318<br>14.999398 | 0.547762<br>-0.0001272<br>-0.0000111 | 0.001631<br>-0.0001266<br>-0.0000110  | 0.0045990<br>0.0045761 |
| 2011 NOV 25<br>p<br>0.904<br>-1.05377 | 2455890.76<br>147<br>123 | 6              | -0.310043<br>0.5789064<br>0.0000005<br>-0.00000941  | -1.027829<br>-0.0578810<br>0.0002105<br>0.00000084  | -20.67681<br>-0.008160<br>0.000003 | 273.29936<br>14.998397 | 0.540896<br>0.0000622<br>-0.0000128  | -0.003900<br>0.0000618<br>-0.0000127  | 0.0047360<br>0.0047124 |
| 2012 MAY 20<br>r<br>0.48262           | 2456068.50<br>153<br>128 | 24             | -0.002200<br>0.5031828<br>0.0000183<br>-0.00000367  | 0.483359<br>0.0560538<br>-0.0001411<br>0.00000056   | 20.22056<br>0.008271<br>-0.000003  | 180.85658<br>15.000377 | 0.566480<br>-0.0000312<br>-0.0000097 | 0.020255<br>-0.0000311<br>-0.0000097  | 0.0046204<br>0.0045974 |
| 2012 NOV 13<br>t<br>-0.37208          | 2456345.43<br>159<br>133 | 22             | -0.183781<br>0.5743406<br>0.00000351<br>-0.00000973 | -0.346945<br>-0.0940701<br>0.0001484<br>0.00000150  | -18.24725<br>-0.010402<br>0.000004 | 153.89781<br>14.999868 | 0.537438<br>-0.0000239<br>-0.0000130 | -0.006442<br>-0.0000238<br>-0.0000130 | 0.0047235<br>0.0047020 |
| 2013 MAY 10<br>r<br>-0.26954          | 2456422.52<br>165<br>138 | 0              | -0.175101<br>0.5032886<br>0.0000144<br>-0.00000391  | -0.304462<br>0.0888859<br>-0.0000959<br>-0.00000097 | 17.60548<br>0.010701<br>-0.000004  | 180.90348<br>15.001661 | 0.562645<br>0.0000788<br>-0.0000100  | 0.017454<br>0.0000784<br>-0.0000100   | 0.0046313<br>0.0046082 |
| 2013 NOV 3<br>r<br>0.32697            | 2456600.03<br>171<br>143 | 13             | 0.183179<br>0.5449496<br>0.0000383<br>-0.00000826   | 0.294942<br>-0.1203737<br>0.0000790<br>0.00000173   | -15.20966<br>-0.012636<br>0.000003 | 19.11060<br>15.001325  | 0.546275<br>-0.0001121<br>-0.0000120 | 0.000150<br>-0.000115<br>-0.0000120   | 0.0047137<br>0.0046902 |
| 2014 APR 29<br>(+)<br>-1.00014        | 2456776.75<br>177<br>148 | 6              | 0.185233<br>0.5282684<br>-0.0000030<br>-0.00000724  | -0.982687<br>0.1221131<br>-0.0000473<br>-0.00000162 | 14.44980<br>0.012688<br>-0.000003  | 270.65602<br>15.002756 | 0.590531<br>0.0001186<br>-0.0000112  | 0.004385<br>0.0001180<br>-0.0000111   | 0.0046433<br>0.0046202 |

#### Lampiran 4

#### Hasil Wawancara

Narasumber : Dr. Eng. Rinto Anugraha, M.Si.  
Pewawancara : Jafar Shodiq  
Lokasi : kantor Jurusan Fisika FMIPA UGM Yogyakarta  
Tanggal : 19 Februari 2016 dan 1 Juni 2016  
Tujuan : Penulis ingin mengetahui perhitungan gerhana Matahari dalam buku Mekanika Benda Langit

Tanya : Gerhana dalam buku Mekanika bapak adalah gerhana matahari garis sentral (*central line*), apakah yang dinamakan gerhana garis sentral ?

Jawab : Gerhana garis sentral adalah gerhana yang memperhitungkan posisi geografis bumi yang terkena umbra bulan pada saat gerhana total atau cincin.

Tanya : Algoritma apakah yang bapak gunakan untuk menghitung gerhana ?

Jawab : Saya memakai algoritma Jean Meeus dalam bukunya *Astronomical Algorithms, Elements of Solar Eclipses 1950-2200, More Mathematical Astronomy Morsels*.

Tanya : Data apa saja yang diperlukan untuk mengetahui gerhana Matahari *central line* ?

Jawab : yang pertama adalah waktu saat terjadi gerhana, elemen Bessel, delta T, dan waktu referensi (To) gerhana. Elemen Bessel tiap gerhana berbeda-beda, elemen Bessel dan waktu referensi (To) gerhana bisa dilihat di buku Jean Meeus "*Elements of Solar Eclipses 1950-2200*", untuk delta T saya memakai rumus polynomial NASA. Rumus Delta T bisa dilihat di website NASA yaitu [www.eclipse.nasa.gov](http://www.eclipse.nasa.gov), untuk buku Mekanika saya seperti itu karena ini untuk perhitungan gerhana global.

Tanya : Apakah gerhana garis sentral bisa untuk menghitung posisi lokal ?

Jawab : Bisa, akan tetapi dalam buku Mekanika tidak menyertakan perhitungan posisi lokalnya. Belum lama ini saya membuat program excel untuk gerhana matahari garis sentral untuk posisi lokal dan hasilnya dengan NASA mempunyai kecocokan yang bagus.

Tanya : Apa itu elemen Bessel ?

Jawab : Elemen Bessel adalah nilai-nilai konstanta yang di pakai dalam perhitungan gerhana matahari yang menggunakan bidang fundamental, elemen Bessel dari buku Jean Meeus dibangun dari teori VSOP87 untuk posisi matahari dan teori ELP2000 untuk posisi bulan. Kedua teori tersebut bisa dibilang teori yang paling akurat saat ini karena suku koreksi yang dipakai sangat banyak.

Tanya : Kenapa dinamai dengan elemen Bessel ?

Jawab : Karena penemunya bernama Bessel, beliau merupakan astronom Prusia (sekarang Jerman) nama lengkapnya Friederich Wilhelm Bessel. Kamu bisa mencari info lebih dalam tentang Bessel di Internet.

Tanya : Apakah perhitungan gerhana matahari garis sentral bisa digunakan untuk menghitung gerhana matahari parsial ?

Jawab : Kalo yang ada dalam buku Mekanika Benda Langit, karena disana hanya perhitungan gerhana global jadi tidak bisa. Namun jika kita menggunakan perhitungan posisi lokal maka semua jenis gerhana matahari bisa dihitung.

Tanya : Apa saja hasil perhitungan yang diperoleh dari gerhana matahari sentral ?

Jawab : Data yang dihasilkan adalah data lintang, bujur lokasi, azimuth dan altitude matahari, lebar lintasan gerhana dan magnitude gerhana dari suatu tempat yang mengalami gerhana total atau cincin.

Tanya : Apakah harapan bapak terkait ilmu falak ?

Jawab : Harapan saya ilmu ini semakin diminati masyarakat karena ilmu ini penting, dan ini menjadi tugas anda-anda semua sebagai mahasiswa falak untuk mensyi'arkan falak ke masyarakat.

**SURAT PERNYATAAN**

Yang bertanda tangan di bawah ini

Nama : Dr. Rinto Anugraha NSZ  
Alamat : Kraungkungan RT 003/008 No. 70 Condong Catur Sleman  
Tempat/Tanggal Lahir : Jakarta, 27 September 1974  
Jabatan : Dosen Fisika FMIPA UGM  
No. Telepon/ Hp : 0858 7839 4054  
Email : rinto@ugm.ac.id

Menyatakan bahwa

Nama : JAFAR SHODIQ  
NIM : 122111058  
Tempat/Tanggal Lahir : KEBUMEN, 09 JUNI 1993  
Universitas : UIN WALISONGO SEMARANG  
Fakultas / Jurusan : SYARIAH DAN HUKUM / ILMU FALAK  
Judul Skripsi :

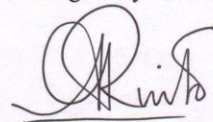
***STUDI ANALISIS METODE HISAB GERHANA MATAHARI RINTO  
ANUGRAHA DALAM BUKU MEKANIKA BENDA LANGIT***

Benar-benar telah melakukan wawancara dengan kami pada 19 Februari 2016

Demikian Surat Pernyataan ini kami buat dengan sebenar-benarnya untuk dapat digunakan sebagaimana mestinya.

Anugraha, 1 Juni 2016

Yang Menyatakan



Dr. Rinto Anugraha NSZ



### Daftar Riwayat Hidup

Nama : Jafar Shodiq  
Tempat tanggal lahir : Kebumen, 9 Juni 1993  
Nama orang tua : Abdur Rahman, Siti Khodijah  
Alamat asal : Desa Nampudadi, rt : 03 rw : 02, Kecamatan Petanahan, Kabupaten Kebumen  
Alamat sekarang : Pondok Pesantren Darun Najaah, Jl. Stasiun No. 275, Jerakah, Tugu, Semarang  
Email : Garibaldidjafar@gmail.com  
No. HP : 085600293436

### Jenjang Pendidikan :

#### A. Formal

- |                           |             |
|---------------------------|-------------|
| 1. TK Mardisiwi Nampudadi | (1999-2000) |
| 2. SDN Nampudadi          | (2000-2006) |
| 3. MTs N Klirong          | (2006-2009) |
| 4. MA Salafiyah Wonoyoso  | (2009-2012) |
| 5. UIN Walisongo Semarang | (2012-2016) |

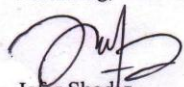
#### B. Non Formal

- |   |             |
|---|-------------|
| 1. Madrasah Diniyyah "Mamba'ul Ulum Nampudadi   | (2000-2006) |
| 2. Yayasan Pesantren Salafiyah Wonoyoso Kebumen | (2009-2012) |
| 3. NANO English Course Pare                     | (2013)      |
| 4. Pondok Pesantren Darun Najah, Semarang       | (2012-2016) |

### Pengalaman Organisasi :

1. Pengurus P3M (Pengabdian, Pemberdayaan dan Pengembangan Masyarakat) CSS MoRa UIN Walisongo (2014-2015).

Semarang, 10 Juni 2016

  
Jafar Shodiq  
NIM : 122111058